História da Ciência

Volume II
Tomo I

A Ciência Moderna

Carlos Augusto de Proença Rosa

2ª Edição

FUNDAÇÃO ALEXANDRE DE GUSMÃO

O segundo volume, em dois tomos, se refere à Ciência Moderna e cobre os séculos XVII, XVIII e XIX. O Tomo I trata do desenvolvimento da Ciência naqueles dois primeiros séculos, à luz do ambiente político, social, econômico, cultural, religioso e técnico da época. O autor defende que o advento da Ciência Moderna resultaria da retomada do espírito científico pela implantação de uma metodologia no processo investigativo, em que as contribuições de Bacon, Galileu, Descartes e Newton foram fundamentais. Surgiria a noção da Matemática como a linguagem adequada para as "ciências exatas", o avanço tecnológico (luneta, microscópio) colaboraria com o progresso da Filosofia Natural (Astronomia, História Natural), a Mecânica se estruturaria e seriam elaboradas teorias no campo da Óptica e da Química. O século das Luzes, além do Iluminismo, responsável pela liberação da Filosofia Natural da influência teológica e metafísica, seria palco da estruturação da Física e da Química, progressos nas pesquisas astronômicas e biológicas.

HISTÓRIA DA CIÊNCIA
A Ciência Moderna

Volume II

Tomo I

A *Fundação Alexandre de Gusmão*, instituída em 1971, é uma fundação pública vinculada ao Ministério das Relações Exteriores e tem a finalidade de levar à sociedade civil informações sobre a realidade internacional e sobre aspectos da pauta diplomática brasileira. Sua missão é promover a sensibilização da opinião pública nacional para os temas de relações internacionais e para a política externa brasileira.

Ministério das Relações Exteriores
Esplanada dos Ministérios, Bloco H
Anexo II, Térreo, Sala 1
70170-900 Brasília, DF
Telefones: (61) 2030-6033/6034
Fax: (61) 2030-9125
Site: www.funag.gov.br

Carlos Augusto de Proença Rosa

HISTÓRIA DA CIÊNCIA
A Ciência Moderna

Volume II - Tomo I

2ª Edição



Brasília, 2012

Direitos de publicação reservados à
Fundação Alexandre de Gusmão
Ministério das Relações Exteriores
Esplanada dos Ministérios, Bloco H
Anexo II, Térreo
70170-900 Brasília – DF
Telefones: (61) 2030-6033/6034
Fax: (61) 2030-9125
Site: www.funag.gov.br
E-mail: funag@itamaraty.gov.br

Equipe Técnica:
Eliane Miranda Paiva
Fernanda Antunes Siqueira
Fernanda Leal Wanderley
Gabriela Del Rio de Rezende
Jessé Nóbrega Cardoso
Rafael Ramos da Luz
Wellington Solon de Souza Lima de Araújo

Capa:
Rafael Sanzio, *A Escola de Atenas*

Programação Visual e Diagramação:
Gráfica e Editora Ideal

Impresso no Brasil 2012

R788

ROSA, Carlos Augusto de Proença.
História da ciência : a ciência moderna / Carlos Augusto de Proença. — 2. ed. — Brasília : FUNAG, 2012.
3 v. em 4; 23 cm.

Conteúdo: v.1. Introdução geral; Tempos pré-históricos. — v.2. A ciência moderna. — v.3. A ciência e o triunfo do pensamento científico no mundo contemporâneo.

ISBN: 978-85-7631-394-6

1. Ciência moderna. 2. Matemática. 3. Astronomia. 4. Física. 5. Química. 6. História Natural. 7. Desenvolvimento Científico. I. Fundação Alexandre de Gusmão.

CDU: 930.85

Ficha catalográfica elaborada pela bibliotecária Talita Daemon James – CRB-7/6078

Depósito Legal na Fundação Biblioteca Nacional conforme Lei n° 10.994, de 14/12/2004.

Plano Geral da Obra

VOLUME I

INTRODUÇÃO GERAL

Tempos Pré-Históricos

Capítulo I: A Técnica nas Primeiras Grandes Civilizações

Mesopotâmia

Egito

China

Índia

Outras Culturas Antigas (Hititas, Hebraica, Fenícia e Persa)

Capítulo II: A Filosofia Natural na Civilização Greco-Romana

A Civilização Grega e o Advento do Pensamento Científico e da Ciência

A Técnica na Cultura Romana

Sumário

VOLUME II - TOMO I

Capítulo VI
A Ciência Moderna

Embora tenha havido um extraordinário desenvolvimento cultural e científico na Europa ocidental nos séculos XV e XVI, a Sociedade renascentista perduraria, do ponto de vista de sua evolução mental, como de transição da época medieval, à qual não mais pertencia, para a modernidade, da qual não possuía ainda os necessários atributos. Sua contribuição, no entanto, para o advento da Ciência Moderna seria decisiva ao criar as condições indispensáveis para um reexame dos fundamentos da Filosofia Natural.

Na História da Ciência, o período que se estende, aproximadamente, do início do século XVII até o final do século XIX corresponde ao que se convencionou chamar de Ciência Moderna. Durante esse período, uma verdadeira revolução conceitual e metodológica estabeleceria as bases sobre as quais se desenvolveria o conhecimento científico, cujos antecedentes recentes se encontravam no Renascimento Científico, e suas origens mais remotas na civilização helênica. O advento da Ciência Moderna surgiria como resultante da constatação de erros e equívocos do passado na interpretação dos fenômenos e na explicação do Mundo natural, cujos muitos desses enganos seriam patenteados principalmente a partir do final do século XV. Do processo investigativo e metodológico com o objetivo de conhecer e compreender tais fenômenos pela acumulação de novos conhecimentos adquiridos, pelo avanço teórico e experimental e pelo desenvolvimento do pensamento científico, decorreria uma nova etapa da evolução da Ciência.

Esse processo evolutivo adquiriria uma aceleração e um alcance imprevisíveis em seu início, que, de contestatório dos fundamentos da Filosofia Natural aristotélica, terminaria por crítico das bases metafísicas da Ciência Moderna. Esse extraordinário desdobramento, fruto da expansão da influência do pensamento científico no meio intelectual, constitui-se, assim, num dos aspectos mais relevantes e característicos da evolução da Ciência Moderna e da própria História Geral da Humanidade. Esse desdobramento configurou uma verdadeira revolução científica, a qual orientaria, de imediato, o avanço das pesquisas nos diversos ramos da Ciência. Esses eventuais e extraordinários desenvolvimentos, balizados pela criação de Ciências em novas bases (Astronomia, Física, Química) ao longo desse período, seriam reflexos diretos e consequência dessa revolução científica iniciada nos começos do século XVII.

A apreciação da evolução científica no período da Ciência Moderna, por conseguinte, não pode se limitar ao exame do progresso nos estudos e nas pesquisas, em especial, de algumas disciplinas das Ciências, mas deve abranger, também, a importante mudança na mentalidade de crescente número dos filósofos naturais, que se refletiria na gradual afirmação do pensamento científico. A mera sucessão das experiências e da formulação das leis científicas não é suficiente para entender essa complexa e fundamental evolução, que requer a compreensão preliminar da evolução dos pensamentos filosófico e científico no período, porquanto seriam decisivos para o reconhecimento da prioridade da Ciência na busca do entendimento racional dos fenômenos naturais. Importante assinalar, ainda, ter sido fundamental, nesse processo, a confrontação da tradicional visão finalista do Mundo, que buscava sustentação adicional numa Filosofia Natural, serva da Teologia, por um contingente, cada vez maior, de pensadores e pesquisadores, os quais, por motivos e propósitos diferentes, contribuiriam para o encaminhamento de uma futura liberação da Ciência da tutela teológica ou religiosa.

Já ao final do Renascimento Científico, o embate entre o Tomismo, representado pela Escolástica, de um lado, e, do outro, o cisma religioso, com o objetivo de retornar aos valores estabelecidos na Sagrada Escritura; e o Humanismo, detrator do aristotelismo e defensor do neoplatonismo, tornava patente o grave choque de tendências dentro do Mundo cristão; ou, em outras palavras, o conflito entre o Racionalismo e a Fé, entre a Razão e a Revelação, entre o realismo e o idealismo, seria um dado fundamental na evolução do pensamento ocidental. Embora as diferenças estivessem no campo teológico, havia um reconhecimento generalizado da contribuição que a Filosofia Natural poderia dar em reforço à “Verdade Revelada” ou

à comprovação da obra divina. Para tanto, deveria a Filosofia Natural seguir, desde o entendimento dos Pais da Igreja (Patrística), como serva da Religião. A seguinte passagem de Francis Bacon, crítico do Tomismo pelo suposto consórcio legítimo da Fé com a Razão, é esclarecedora e suficiente para ilustrar o ponto:

> (...) parecem temer que a investigação da Natureza acabe por subverter ou abalar a autoridade da religião... como se os homens, no recesso de suas mentes e no segredo de suas reflexões, desconfiassem e duvidassem da firmeza da religião e do império da Fé sobre a Razão e por isso temessem o risco da investigação da verdade na Natureza... a Filosofia Natural, depois da palavra de Deus, é a melhor medicina contra a superstição, e o alimento mais substancioso da Fé. Por isso, a Filosofia Natural é justamente reputada como a mais fiel serva da Religião, uma vez que (as Escrituras) torna manifesta a vontade de Deus e a outra (a Filosofia Natural) o seu poder. (Aforismo LXXXIX).

Esse entendimento pelas diversas Igrejas do papel de subordinação da Ciência à Teologia não significaria, no entanto, hostilidade ou proibição à realização de estudos e investigação dos fenômenos naturais, mas interesse de manter, sob seu controle e direcionamento, tais iniciativas, de forma a assegurar sua conformidade com a Verdade Revelada. Em consequência, desde Agostinho e desde os primeiros reformadores (Lutero, Calvino) que as diferentes Igrejas, embora perseguissem ou se opusessem a todos aqueles (Galileu, Bruno, Borelli, Descartes) que contrariassem dogmas ou fundamentos bíblicos, dariam importantes contribuições, por meio de seus sacerdotes e prelados, ao desenvolvimento científico; no caso da Igreja de Roma, bastaria citar, como exemplos, Grosseteste, Roger Bacon, William Ockham, Nicole d'Oresme, Nicolau de Cusa, Alberto Magno, Copérnico, Gassendi, Mersenne, Kircher, Steno, Needham, Piazzi, Nollet, Haüy e Mendel.

A emergente revolução na mentalidade e atitude de parte crescente da intelectualidade da Europa levaria à contestação da "verdade revelada" em domínios estranhos à Teologia, e à definitiva refutação da indiscutível infalibilidade da autoridade, antiga ou atual, em Filosofia Natural. A consequência imediata dessa radical mudança de mentalidade e de atitude seria o inevitável choque entre os defensores das duas correntes opostas de pensamento, isto é, entre subordinação e autonomia da Ciência.

À medida que essa última corrente de opinião de rejeição da imposição de explicações fora e além do âmbito dos fenômenos ganhava

terreno, um clima cada vez mais favorável se criaria para o estabelecimento de metodologias, que sustentariam critérios objetivos na investigação científica, de forma a desenvolver um raciocínio coerente e lógico, em bases seguras e sem recurso a especulações. Bacon, Galileu, Descartes e Newton teriam um papel saliente nesse processo de colocar a Ciência em bases metodológicas científicas sobre as quais seriam desenvolvidos experimentos e investigações; exemplo bastante elucidativo é a formulação, no *Discurso sobre o Método*, de Descartes, de seus quatro famosos preceitos metodológicos.

Em decorrência do processo de liberação da tutela religiosa e em consequência da aplicação de metodologia científica nos procedimentos investigativos, surgiria a noção de não imiscuir considerações metafísicas nas formulações dos preceitos e princípios científicos. Assim, Newton seria um pioneiro, como Galileu, ao se basear, em seus trabalhos, exclusivamente nos dados fornecidos pelo fenômeno sob exame. Na obra *Princípios Matemáticos da Filosofia Natural*, Newton escreveria o célebre trecho conhecido como *hipotheses non fingo*:

> ... mas até aqui não fui capaz de descobrir a causa dessas propriedades da gravidade a partir dos fenômenos, e não construo nenhuma hipótese; pois tudo que não é deduzido dos fenômenos deve ser chamado de uma hipótese, e as hipóteses, quer metafísicas ou físicas, quer de qualidades ocultas ou mecânicas, não têm lugar na Filosofia experimental. Nessa Filosofia proposições particulares são inferidas dos fenômenos e depois tornadas gerais pela indução. Assim foi que a impenetrabilidade, a mobilidade e a força impulsiva dos corpos, e as leis do movimento e de gravitação, foram descobertas.

Como assinalou Ruppert Hall (A Revolução na Ciência, 1500-1750),

> de fato, a filosofia de Newton foi a primeira Filosofia positiva no sentido de Augusto Comte. O fato de Newton se ter abstido de atribuir uma causa à gravitação era mais um motivo de congratulação que de crítica. Condenados como estamos a ser ignorantes da essência e contextura inerente dos corpos, escreveu D'Alembert antecipando-se a Comte, o único recurso que resta à nossa sagacidade é tentar pelo menos aprender a analogia dos fenômenos, e reduzi-los todos a um pequeno número de fatos positivos e fundamentais.

A partir de meados do século XVII, adquiriria grande aceitação, em certos setores do meio intelectual de vários países do continente europeu, o racionalismo cartesiano, que se baseava na dedução de ideias inatas, independentes da experiência sensível e anteriores a ela; ainda de

acordo com Descartes, a utilização correta da Razão estava assegurada por Deus, que não permitiria o erro e que construíra o Mundo segundo um plano, o qual escapava ao discernimento humano. Tal Filosofia significava a concepção da Razão como uma finalidade analítica a operar dedutivamente de ideias inatas inerentes ao próprio intelecto humano, o que correspondia à construção de um sistema abstrato de explicação da realidade.

Esse racionalismo seria refutado pelos pensadores do Iluminismo, que sustentavam atuar a Razão sobre dados que são fornecidos pelos sentidos (Locke, Hume), sendo um meio para se atingir, através da experiência e da posterior reflexão, o conhecimento da Natureza. A Razão passou a ser entendida como uma força que, a partir da experiência sensível, se desenvolveria juntamente com ela. Desta forma, contrários ao racionalismo metafísico, os pensadores do século XVIII formulariam o que se chamaria de racionalismo empírico, síntese das duas principais vertentes da Filosofia Moderna – o empirismo baconiano e o racionalismo cartesiano.

O pensamento e o saber científicos corresponderiam, assim, a uma nova concepção da Razão, a um racionalismo distinto do cartesiano; seus formuladores, em especial os da época do Iluminismo, aprofundariam e expandiriam o espírito renovador, dando-lhe novos contornos e objetivos, que significavam solapar as estruturas seculares e criar condições de desenvolvimento social e humano. A preocupação com planos e propósitos divinos e as explicações metafísicas já não atraíam a atenção dos cientistas, na medida em que os planos teleológicos e as causas espirituais não poderiam sujeitar-se a testes, não poderiam ser isolados e não poderiam ser, portanto, comprovados. Exemplo histórico e célebre dessa nova concepção racionalista é o da resposta do geômetra e astrônomo Laplace a Napoleão sobre não ter incluído Deus em seu Sistema do Mundo: "não necessito de tal hipótese".

O racionalismo iluminista, ou a crença na Razão humana, colocava tudo sob nova ótica. A análise dos fatos, a crítica do conhecimento e o reexame de princípios e conceitos eram consequências inevitáveis desse novo entendimento, que buscava fundamentos empíricos e racionais para compreender o Mundo e o Homem. Kant explicaria (Prefácio da 1ª edição da *Crítica da Razão Pura*), ao mencionar o "desprestígio a que se tinha querido subtrair a Ciência" e os esforços dos "dogmáticos para restaurar a ordem destruída", que "esses pretensos insensíveis... não são capazes de pensar qualquer coisa sem recair, inevitavelmente, em afirmações metafísicas... Essa indiferença, porém, se produz no meio do florescimento de todas as

Ciências". O juízo "amadurecido da época já não se deixa seduzir por um saber aparente... É um convite à Razão... tudo isso, não por decisão arbitrária, mas em nome de suas leis eternas e imutáveis". Kant acrescentaria ainda que "a época em que vivemos é a época da crítica, à qual tudo tem de se submeter. A religião, pela sua santidade, e a legislação, pela sua majestade, querem da mesma forma desligar-se dela. Contra elas levantam então justificadas suspeitas e não podem aspirar ao sincero respeito, que a Razão só concede a quem pode sustentar seu livre e público exame".

Na identificação da principal causa pelo atraso na implantação do império da Razão, os pensadores identificariam a religião, que submeteria o Homem a crenças irracionais e fantasiosas e a uma estrutura de poder espiritual (Igreja) baseada na superstição, no mito e no dogma. Dessa forma, laico e secular, e em alguns casos até anticlerical (Voltaire, Condorcet), o pensamento deveria ser autônomo, e não tutelado (Kant). Tratava-se de estabelecer o império da Razão sobre a tradição e a autoridade, de impor a vigência do novo Racionalismo sobre a Fé e as crenças religiosas.

O pensamento europeu na metade do século XVIII seria, assim, dominado pelo chamado Iluminismo, conjunto de ideias, conceitos e valores compartilhados em diversos países por diferentes correntes filosóficas, que abrangiam as teorias política e econômica, a doutrina jurídica, a reflexão científica e a inspiração artística. O liberalismo social e político, culminando nas revoluções francesa e americana, e o liberalismo econômico, expresso na doutrina do *laissez faire, laissez passer* e instrumental para a revolução industrial, foram ensinamentos e proposições iluministas, cujas novas dimensões sociais, políticas e econômicas distinguiriam nitidamente o século XVIII do precedente. A Bacon, Descartes, Pascal, Hobbes, Espinosa e Leibniz sucederiam Locke, Hume, Montesquieu, Diderot, d'Alembert, Condorcet e Kant.

Vários ramos da Ciência tiveram um extraordinário desenvolvimento ao longo do século XVIII, como a Matemática, com as contribuições valiosas, entre outros, de Euler, Lagrange, Monge; a Astronomia, com as de Laplace, Bradley, Lalande e Herschel; a Física, com as dos Bernoulli, Réaumur, Benjamin Franklin, Cavendish e Volta; a Química, com Black, Priestley, Scheele e Lavoisier; e a História Natural, com Hutton, Linneu, Buffon e Jussieu. A exemplo de Galileu, que fundara a Física Moderna, no início do século XVII, Lavoisier fundaria, na segunda metade do século XVIII, a Química Moderna, em bases científicas, pelo descrédito da teoria do flogisto, pela formulação de uma nomenclatura química universal, pelo princípio da conservação da matéria e pela introdução do método quantitativo e de medição

sistemática. Sua revolucionária obra se constitui no marco inicial que permitiria a estruturação da Química e um extraordinário avanço no conhecimento dos fenômenos químicos desde o começo do século seguinte.

A ampliação da rede de ensino universitário; a disseminação de academias, Sociedades científicas, jardins botânicos, bibliotecas e museus; e o generalizado reconhecimento da importância econômica e cultural da Ciência aguçariam a curiosidade e o interesse de um selecionado público leigo, cada vez maior, que se dedicaria à pesquisa científica. A consequente e crescente secularização da Ciência, pelo amplo predomínio de pesquisadores laicos, embora de fé religiosa, seria um elemento importante desse complexo e penoso processo de formação e afirmação de uma mentalidade crítica, inquisitiva, menos dogmática e mais aberta à pluralidade conceitual, ainda que sob forte influência metafísica. A fé na Ciência atingira um novo patamar, nunca até então alcançado, o que servia de incentivo adicional para o avanço das pesquisas em tradicionais e novos ramos científicos.

O desenvolvimento da Ciência no século XIX acentuaria, ainda mais, seu caráter leigo e secular e seu distanciamento das influências filosóficas e religiosas, como reconhecimento da conveniência de liberdade da investigação científica. Herdeiros dos avanços conceituais e experimentais dos séculos passados, principalmente do anterior, a Sociedade e o meio intelectual, sobretudo da Europa, demonstrariam, por meio de atos e palavras, sua capacidade de iniciar uma verdadeira revolução, cuja característica principal, desta vez, seria a de assentar a Filosofia Natural em bases estritamente científicas, sem recurso a pressupostos metafísicos e teleológicos.

A Ciência não se prestaria mais a provar a perfeição da obra divina, nem se colocaria numa posição de inferioridade ou subordinação à Religião, embora imensos esforços nesse sentido continuassem da parte de segmentos detentores de poder político e espiritual, apegados ao passado. A formidável resistência ao pensamento científico, por seu caráter independente, laico e antidogmático, retardaria seu completo triunfo sobre a ignorância, o preconceito e a especulação, mas não seria capaz de evitar sua crescente influência em importantes segmentos do meio intelectual de um grande número de países, em particular da Europa. As atividades teóricas e experimentais passariam a adotar, sem traumas, a metodologia científica.

Ao final do século, as ideias expressas por Francis Bacon, no início do período da Ciência Moderna, não teriam mais vigência. A atividade

científica, exercida por um número crescente de pesquisadores e técnicos, se colocaria a serviço da comunidade, sem qualquer outra consideração que o bem-estar da Sociedade. O resultante desenvolvimento social, técnico e econômico seria imediatamente reconhecido pela opinião pública, a qual se tornaria defensora e aliada das atividades de pesquisa científica.

A criação das novas Ciências fundamentais e gerais (Biologia e Sociologia), o surgimento de novos campos de pesquisa (como Astrofísica, Termodinâmica, Eletromagnetismo, Radioatividade, Química Orgânica, Bioquímica, Embriologia e Evolução), o desenvolvimento e a formação de ciências auxiliares, descritivas (como Arqueologia, Paleontologia, Geologia e Meteorologia), seriam as grandes realizações na estruturação do vasto campo científico. Paralelamente, se intensificaria o progresso na elaboração de leis e conceitos científicos, evidências da fantástica expansão do saber enciclopédico em bases reais, positivas, sem apelo a considerações de ordem teleológica ou finalista, e a noções de caráter absoluto.

Duas novas Ciências seriam fundadas no século XIX: a Sociologia, por Comte; e a Biologia, cujos diversos ramos, como Citologia, Embriologia, Fisiologia e Evolução seriam estabelecidos ao longo do período. Essas Ciências, ao se institucionalizarem, causariam grande impacto e mudança na compreensão do Mundo, por terem sido responsáveis pela grande revolução ideológica, tornada possível pela secularização da Ciência, pela inclusão de novos conceitos e pela crescente aceitação, no meio intelectual, do pensamento científico. A Física, modelo, desde Galileu, para o desenvolvimento das Ciências experimentais, deixaria de ser aplicável às chamadas Ciências históricas, como a Sociologia, Antropologia, Evolução, Arqueologia e Paleontologia; ao mesmo tempo, conceitos, como o de evolução, seleção natural e biopopulação, deflagrariam a chamada revolução darwinista, que demoliria a visão criacionista das espécies e confirmaria a vigência das leis naturais no domínio dos seres vivos. Criadas sob o império de novas ideias imbuídas do espírito científico, as teorias sociológicas e evolucionistas prescindiriam, por desnecessárias, da interferência divina ou da ação de forças sobrenaturais, iniciando uma verdadeira revolução no meio intelectual, que se expandiria e se consolidaria no período atual, a despeito da resistência das antigas concepções.

Contribuições de um grande número de cientistas atestam esse desenvolvimento favorável do pensamento científico e de grandes atividades no campo teórico e experimental. Nesse sentido, caberia citar, entre outros, na Matemática, Gauss, Cauchy, Abel, Galois, Lobachevsky, Riemann, Cantor e Dedekind; na Astronomia, Herschel, Bessel, Struve, Kirchhoff, Argelander, Angstrom, Le Verrier, Huggins e Pickering; na

Física, Ampère, Faraday, Arago, Carnot, Helmholtz, Clausius, Kelvin, Maxwell, Mach, Boltzman, Ostwald, Lorenz e o casal Curie; na Química, Dalton, Avogadro, Gay-Lussac, Berzelius, Wohler, Dumas, Liebig, Wurtz, Pasteur, Kekulé, Mendeleiev, Le Bel, Van't Hoff, Fischer, Arrhenius e Nernst; na Biologia, Bichat, Lamarck, Gall, Magendie, von Baer, Johann Muller, Owen, Darwin, Claude Bernard, Karl Ludwig, Virchow, Mendel, Wallace, Cohn, Weissmann, Fleming, van Beneden, Erlich, Bateson, Boveri, De Vries; e na Sociologia, Comte, Quételet, Le Play, Marx, Engels, Tarde, Spencer, Lester Ward, Durkheim.

Vários outros importantes aspectos da Ciência no século XIX devem ser assinalados por significarem desenvolvimentos que virão a caracterizar o Mundo da Ciência na etapa histórica atual. O primeiro aspecto seria o da quebra da subordinação da Ciência à Religião, situação que estaria patente, no século seguinte, com a separação do Estado e da Religião, e com o predomínio, no meio científico, de uma mentalidade laica e positiva; o segundo aspecto foi o do reconhecimento da função social da Ciência, criada e estimulada como atividade intelectual em benefício da Sociedade, a qual, por sua vez, reconheceria o valor das pesquisas científicas, e as estimularia; a terceira importante consideração foi a de a pesquisa ter se transformado numa atividade dispendiosa e complexa, que de trabalho solitário de um cientista, como no passado, passaria a uma atividade de equipe e que resultaria na disseminação de institutos de investigação, bibliotecas, laboratórios e observatórios, com o apoio público e privado; as universidades começariam a se transformar em centros de investigação, publicações especializadas seriam fundadas e inovações tecnológicas ampliariam e sofisticariam os instrumentos de pesquisa científica; outro aspecto da Ciência, no século XIX, é seu caráter fundamentalmente europeu, uma vez que os EUA despontariam, somente no final do século, como centro de relativa importância de estudos e investigação em algumas áreas (Geologia, Astronomia, Botânica, Física, Biologia); a Ciência só teria real atividade de âmbito mundial a partir do século XX; e, finalmente, caberia registrar que se criaria e se intensificaria um clima favorável à cooperação internacional, que se traduziria em conferências em vários campos, como os da Matemática, Botânica, Química, Astronomia, Geodésia e Medicina.

Com a estruturação das diversas Ciências básicas, a utilização de adequadas metodologias e a definitiva afirmação do pensamento científico, estavam criadas agora as condições para a evolução da Ciência em novas e revolucionárias bases, o que significaria o início de um período, o da Ciência Contemporânea, cujos fundamentos, não mais metafísicos, seriam de ordem racional e positiva.

Devido a sua extensão, o exame da evolução da Ciência Moderna é apresentado em dois tomos, sendo o primeiro relativo aos períodos denominados de O Advento da Ciência Moderna e O Desenvolvimento Científico no Século das Luzes, e o segundo sobre O Pensamento Científico e a Ciência no Século XIX.

PARTE I

O ADVENTO DA CIÊNCIA MODERNA

Parte I
O Advento da Ciência Moderna

6.1 Introdução

O século XVII foi um período histórico de profundas transformações políticas, sociais, culturais e econômicas, num processo evolutivo de enorme significado, na medida em que as contradições pendentes adquiririam novos contornos e imporiam novos desafios a uma Sociedade pós-renascentista. Embora uma época de conflitos e reações, importantes realizações ocorreriam nos diversos campos da atividade humana. O absolutismo monárquico contrariaria interesses aristocráticos; o dogmatismo religioso conduziria a perseguições internas e a guerras, das quais resultaria uma Europa ocidental dividida entre Estados católicos e protestantes; a burguesia consolidaria sua nova importância social e econômica; e o mercantilismo avançaria sobre o decadente feudalismo. O colonialismo, imposto a povos recém-descobertos, reintroduziria a escravatura, e as novas potências europeias estabeleceriam uma extensa rede comercial de âmbito mundial. O Direito internacional seria criado para regular as relações entre os Estados e minorar a brutalidade da guerra; o Barroco, imponente, rico, rebuscado, dominaria as Artes, impondo-se sobre o estilo renascentista. A Filosofia se libertaria definitivamente do jugo da Teologia, iniciando uma verdadeira revolução na História do Pensamento Humano, com a criação da Filosofia Moderna, a partir de Descartes.

Se para a História geral da Europa ocidental, o século XVII pode ser denominado de Século de Luiz XIV, ou da Era do Barroco para a História da Arte, do ponto de vista da História da Ciência, o período deve ser considerado como o do Advento da Ciência Moderna. Tal acontecimento é da maior relevância e de grande impacto na evolução da Humanidade, pelo surgimento de uma nova mentalidade conducente a um espírito científico, criador das bases teóricas e metodológicas da Ciência Moderna. Embora o extraordinário progresso tenha sido limitado, praticamente, à Matemática e a ramos das Ciências Exatas, como a Astronomia e a Mecânica, uma nova visão do Mundo, antropocêntrica, se firmaria, e a compreensão dos fenômenos da Natureza, através de suas Leis, se imporia, em certos círculos intelectuais, às explicações místicas e fantasiosas.

O ponto muito significativo a assinalar é o do desenvolvimento de um espírito inquisitivo e crítico, ainda que em estágio inicial e minoritário no meio intelectual. Tal incipiente desenvolvimento permitiria um suficiente avanço, tanto no campo teórico e conceitual, quanto no metodológico e experimental, cujos efeitos imediatos seriam o de procurar afastar preconceitos, dogmatismos e sectarismos do trabalho científico, e o de fundamentar o conhecimento, ao menos em ramos das Ciências Exatas, em bases demonstráveis e comprováveis. As características metafísicas e as concepções teológicas, predominantes na Filosofia Natural desde suas origens na Civilização greco-romana e durante o Renascimento Científico, continuariam presentes e dominariam o pensamento científico, sem se constituir, contudo, num óbice intransponível para o desenvolvimento científico, teórico e experimental. Avanços em pesquisas na Astronomia (Copérnico, Tycho Brahe, Kepler), mesmo quando efetuados com pressupostos metafísicos de mostrar a harmonia do Sistema do Mundo, como evidência de uma obra divina, seriam etapas significativas para o conhecimento astronômico. Assim, as concepções aristotélico-tomistas de um Cosmos hermético, imóvel e hierarquizado, seriam alteradas pelas de um Universo aberto, em movimento e infinito, mas ligado pela unidade de suas leis.

O processo de afirmação racional seria longo, lento e perigoso, com avanços e retrocessos, cheio de obstáculos e percalços, mas inevitável com a progressiva afirmação do pensamento científico e positivo. A compreensão da necessidade de pesquisas e estudos estruturados em observação e experimentação sistemáticas, com objetivos e critérios claros e definidos, levaria a formulações de metodologias científicas de trabalho que, a partir do século XVII, prevaleceriam no meio intelectual e seriam instrumentos fundamentais no desenvolvimento dos diversos ramos da Ciência.

Na primeira fase do Renascimento Científico, as universidades exerceram um papel central no estudo e na divulgação da Escolástica. Acusadas, a partir do século XV, de patrocinarem debates irrelevantes e inúteis sobre temas teológicos e metafísicos, as universidades se concentraram, na realidade, no ensino acadêmico e na preservação da cultura e do conhecimento herdados da Antiguidade e na reafirmação, incontestável, da autoridade. Sua contribuição ao desenvolvimento de uma nova mentalidade e de um espírito científico foi, assim, bastante reduzida, tanto mais que prevalecia uma oposição, da parte dos professores, a pesquisas e a experimentos. No século XVII, ao contrário, se desenvolveria, em reação a esse estado de coisas, uma verdadeira comunidade de sábios, eruditos e polímatas, que, fora do âmbito universitário, estabeleceriam contatos, intercambiariam ideias e experiências no campo científico, e promoveriam reuniões e conclaves. Publicações especializadas e relatórios de pesquisas e investigações viriam à luz, contribuindo para essa efervescência intelectual. As primeiras Academias, com o propósito de patrocinar experiências e avançar na pesquisa científica, se estabeleceriam na Inglaterra, na França, na Itália e na Alemanha.

Ainda que diversas Ciências tenham se desenvolvido, o ritmo e a natureza desse progresso não se deram por igual. A Matemática, a Astronomia e a Física, chamadas Ciências Exatas, foram as que mais se desenvolveram (Geometrias Projetiva e Analítica, Teoria dos Números, Cálculo das Probabilidades, Cálculo Diferencial, Cálculo Infinitesimal) e as primeiras, por conseguinte, a estabelecer uma base teórica e metodológica (Dinâmica, Óptica, Magnetismo, Mecânica Celeste) e a atingir o grau de racionalidade e experimentação de Ciência positiva. A dedução matemática contribuiria, decisivamente, para o progresso científico, e a criação da Física Moderna, cujas mesmas leis eram aplicáveis à Terra e ao Universo. Os conceitos básicos de massa, força, inércia, movimento, espaço e tempo foram, então, criados. A Astronomia de observação, graças ao telescópio, teria grande desenvolvimento, e o heliocentrismo seria de aceitação geral. A Química, dependente, até certo ponto, dos avanços nas Ciências Exatas, particularmente da Física, e do desenvolvimento tecnológico de instrumentos e equipamentos adequados, conseguiria avançar (Química Analítica, combustão, gases, elementos simples e compostos), começando a se libertar de seus ranços alquímicos e dos preconceitos inibidores. A História Natural continuaria a despertar grande interesse no meio intelectual e no público em geral; os estudos da flora e da fauna, inclusive de regiões distantes da Europa, permaneceriam descritivos, base de tentativas de classificação dos espécimes recolhidos

em diversas partes do planeta. Apesar dos preconceitos que norteavam, também, os estudos sobre Geologia, os trabalhos de cunho científico no campo da Estratigrafia permitiriam importantes progressos conceituais e metodológicos neste campo de pesquisa. Graças à invenção do microscópio e do aperfeiçoamento de instrumentos e equipamentos, a Anatomia e a Fisiologia seriam beneficiadas (grande circulação do sangue, sistema linfático, micro-organismos, estrutura celular, nutrição e sexualidade dos vegetais, espermatozoide), o que proporcionaria debates sobre temas controversos, como geração espontânea e epigênese, que seriam esclarecidos apenas no século XIX.

Do ponto de vista do pensamento científico e do desenvolvimento das diversas disciplinas científicas, a Europa ocidental assumiria definitivamente a liderança, ultrapassando o nível de compreensão e conhecimento dos fenômenos naturais, físicos, humanos e sociais de outras culturas contemporâneas. Mesmo que a distância do conhecimento acumulado tenha se tornado maior com relação às civilizações orientais, no decorrer dos próximos séculos, deve-se registrar, no entanto, o paulatino avanço na mentalidade e nas pesquisas científicas em outras culturas (eslava, por exemplo) e em outras partes da Europa, como a oriental e a Escandinávia.

6.2 Considerações Gerais

A evolução da Ciência na Europa do século XVII se deu em complexo, conturbado e diferenciado contexto político, social, econômico, artístico, filosófico e religioso, originado no século anterior. Os Estados nacionais não formavam um conjunto político, econômico e cultural homogêneo (repúblicas e monarquias, católicos e protestantes, potências marítimas e terrestres, unificados e divididos), o que tornava a Europa uma região propensa a acirrada competição e a sérias divergências. Dada a necessidade de expansão econômica e comercial para satisfazer as crescentes demandas da emergente burguesia e dos cofres do Tesouro nacional, a Europa seria, de modo geral, palco de conflitos e rivalidades, divergências que atestavam o desequilíbrio político e a desigualdade social e econômica, tanto no âmbito externo quanto no plano interno.

Com a expansão geográfica pelas descobertas de terras e povos, e com o cisma religioso, a rivalidade, que até o século XV fora entre os reinos para uma supremacia regional, adquiriria novas dimensões e escala mundial. As meras disputas dinásticas, circunscritas ao continente,

dariam lugar a sangrentos e acirrados conflitos pela expansão do poder nacional, por meio da exploração de terras e povos recém-descobertos. A formação de entrepostos e colônias nas Américas, na África e na Ásia, e as consequentes expansão comercial e criação de novas fontes de matérias-primas e de novos mercados consumidores alterariam o quadro político da Europa ocidental pela modificação radical da correlação de forças entre os Estados[1]. Portugal e Espanha, as primeiras potências coloniais, e as cidades comerciais italianas, de tanto prestígio, riqueza e poder no século XVI, teriam papéis secundários na grande cena política europeia do século XVII, com o surgimento de novas potências de âmbito continental e mundial. Em consequência, o antagonismo político e comercial entre esses novos Estados se exacerbaria, gerando guerras na Europa e nos domínios de ultramar. A hegemonia política, econômica e militar, no século XVII, caberia à França, mas já ao final do período, a Inglaterra competiria pelo domínio dos mares, expandiria seu império colonial e iniciaria uma primeira revolução industrial, o que lhe permitiria, no século XVIII, assumir posição hegemônica no cenário internacional. Os reinos do Sacro Império Romano-Germânico, e mesmo os Estados da Europa setentrional, central e oriental continuariam a limitar suas atividades políticas e econômicas ao continente europeu.

A formação dos Estados nacionais, que seria rude golpe no feudalismo medieval, ensejaria, em termos gerais, a centralização do poder político, a ingerência do Estado na economia por meio da regulamentação e propriedade de atividades produtivas e comerciais, o absolutismo monárquico, a ascensão da burguesia e o enfraquecimento da nobreza parasita. O período era, assim, de afirmação nacional e de criação e controle da máquina do Estado. No plano interno, o poder do governante era incontrastável, ainda que na primeira metade do século houvesse reações, rebeliões e resistências ao absolutismo centralizado; os Estados Gerais, na França; o Parlamento, na Inglaterra; as cortes, na Espanha; a Dieta, na Suécia; e a Assembleia, nos Países Baixos, ou não eram convocados, ou se reuniam esporadicamente para referendar decisões. No plano internacional, a Guerra dos Trinta Anos (1618-1648), as disputas dinásticas e a ameaça expansionista do Império Otomano dominariam o cenário europeu. A expansão colonial se acentuaria no período; as novas colônias inglesas, francesas e holandesas nas Américas, na África e na Ásia contribuiriam, de forma decisiva, para o aumento do poder político e econômico das metrópoles, alterando o equilíbrio de poder no continente

[1] AQUINO, Rubim et al. *História das Sociedades.*

europeu[2]. A Dinamarca e a Suécia teriam um papel importante (Guerra dos Trinta Anos) no cenário político continental na primeira metade do século XVII, e a Rússia, de Pedro, o Grande, surgiria, no final do período, como uma potência emergente. O Sacro Império Romano-Germânico, verdadeiro conglomerado de reinos independentes e rivais, não teria condições para exercer o papel catalisador na política da época, apesar dos esforços do Imperador Leopoldo. Figuras representativas do poder absoluto do governante seriam, na Inglaterra, os Stuarts, Jaime I, Carlos I e Carlos II, assim como Oliver Cromwell; na França, os Cardeais Richelieu e Mazarino, e Luiz XIV; nos Países Baixos, Maurício de Nassau e João de Witt; na Espanha, Felipe III e Felipe IV; na Suécia, Gustavo Adolfo e Carlos XII; e na Rússia, Pedro I, o Grande.

Esse desenvolvimento na esfera política deve ser considerado em conjunção com a evolução econômica, social, religiosa, artística e filosófica da Europa[3]. No campo econômico, o Estado e a burguesia seriam os grandes patrocinadores do vitorioso Capitalismo mercantilista. A principal atividade econômica seria, ainda, a agrícola, com a indústria manufatureira desenvolvendo-se rapidamente. A ingerência do Estado na indústria e no comércio, por meio de monopólios e concessões, incentivaria o desenvolvimento econômico e financiaria, com pesada carga tributária, os excessivos gastos do Tesouro real, comprometido com despesas militares e a vida luxuosa da corte. O protecionismo comercial seria instituído, com o Ato de Navegação de 1651, que motivaria a guerra anglo-holandesa (1652-1654). As alfândegas, até então fontes de recursos financeiros para o Estado, passariam, também, a controlar as importações, de forma a proteger a nascente indústria nacional contra a concorrência estrangeira. A colonização dos novos domínios, fundamental para o desenvolvimento das metrópoles (França, Inglaterra e Países Baixos), se faria, em boa medida, por Companhias com privilégios comerciais concedidos pela Autoridade soberana. Inovações nas técnicas agrícolas (Inglaterra, Países Baixos), novos equipamentos e implementos do setor industrial, desenvolvimento da indústria naval e de armamentos, e expansão da economia monetária, com reflexos no sistema bancário (criação do Banco da Inglaterra em 1694), seriam fatores determinantes da expansão econômica ocorrida. A indústria manufatureira substituiria o artesanato como a importante indústria urbana; fábricas e empreendimentos industriais se adaptariam para atender à crescente demanda, promovendo especialização da mão de obra e maior divisão de trabalho, da qual resultaria o surgimento

[2] AQUINO, Rubim et al. *História das Sociedades .*
[3] ANDERY, Maria Amália et al. *Como Compreender a Ciência.*

da classe operária, cujo trabalho, eficiente e competitivo, colocaria em posição desvantajosa o trabalho artesanal. Grandes obras públicas seriam patrocinadas pelo Estado. Com a expansão comercial, o Báltico e o Mar do Norte (portos da Antuérpia, Amsterdã, Dantzig, Londres, Liverpool, Havre, Hamburgo) cresceriam em importância, em detrimento do Adriático e do Mediterrâneo, cujas cidades portuárias entrariam em declínio político e econômico.

No âmbito social, transformações marcantes ocorreriam na estrutura da Sociedade europeia do período. O desmoronamento do sistema feudal reduziria significativamente o poder da aristocracia rural, proprietária de extensas áreas, já que o poder econômico se transferira do campo para os centros urbanos. A nobreza de corte, que se manteve próxima ao Soberano, perderia poder, mas manteria seus privilégios e influência. A grande maioria da população era, no entanto, composta de camponeses, pequenos proprietários, foreiros e meeiros, sem qualquer participação na vida pública. A burguesia, ativa na indústria, no comércio e nas finanças, assumiria, cada vez mais, um papel relevante nas estruturas econômica e social, como no caso de alguns reinos alemães, Países Baixos, França e Inglaterra, ainda que ausente da estrutura de poder do Estado. A nova classe operária, vinculada à nascente indústria manufatureira, adquiriria, gradualmente, importância no cenário econômico, sem sua correspondente valorização social, países que mantiveram arcaicas e obsoletas estruturas (Portugal, Espanha) perderiam, por seu imobilismo, a posição central ocupada na cena política europeia no século anterior, e suas populações entrariam num processo de atraso social, em comparação com outras comunidades do continente[4].

Na esfera religiosa, o período seria de intolerância, perseguições e discriminações no âmbito interno e de conflitos armados entre reinos, dados o dogmatismo e as intransigências decorrentes dos movimentos da Reforma protestante e da Contrarreforma católica, estabelecida no Concílio de Trento (1546-1563)[5]. As Igrejas Luterana, Calvinista, Anglicana e Presbiteriana eram as principais do movimento protestante. A Europa ocidental se encontrava dividida em dois grandes campos: o católico, com Portugal, Espanha, França, Reinos italianos, parte de Flandres, Polônia, Irlanda, e vários Reinos do Sacro Império (Áustria, Baviera) e o protestante, com a Inglaterra e Escócia, Suécia, Dinamarca, Países Baixos, Reinos alemães (Prússia, Würtemberg, Baden, Palatino, Saxônia), Suíça; no interior desses Reinos, havia minorias que professavam religião distinta

[4] AQUINO, Rubim et al. *História das Sociedades.*
[5] JAGUARIBE, Helio. *Um Estudo Crítico da História.*

da oficial. No plano interno, exemplos da intolerância seriam a Inquisição em Portugal e Espanha; as perseguições na Inglaterra, que levaram à emigração dos *quakers* para a América do Norte; a revogação do Édito de Nantes, por Luiz XIV, em 1685; e os diversos tipos de discriminações adotados nos reinos alemães contra as minorias religiosas. No plano externo, a Guerra dos Trinta Anos, terminada pelo Tratado de Westfalia (1648), confirmaria a religião do Soberano como a do Estado e manteria, assim, a divisão religiosa da Europa. A liberdade religiosa e a separação do Estado e da Religião seriam conquistas da Revolução Francesa, no final do século XVIII. As crenças religiosas exerciam extraordinária influência em todas as camadas e classes da Sociedade da época. Por sua proximidade do poder, as instituições religiosas, em decorrência de seus diversos privilégios seculares, se faziam presentes no cotidiano da vida da comunidade, como no ensino e na formação moral e intelectual, no atendimento hospitalar, na celebração de casamentos e registros de nascimentos, na direção dos cemitérios (campo-santo). A Religião atuava intensamente junto aos crentes, por meio de prédicas e sermões em missas e cultos, confissões, promessas, penitência e procissões. A credulidade, o misticismo e a superstição predominavam, e a religiosidade seria, assim, uma das características da Sociedade do século XVII, como fora nas épocas passadas.

No terreno artístico, o período foi fecundo e inovador, rompendo com o classicismo renascentista e adotando novas formas de expressão em que a grandiosidade, o monumental, o movimento e a emoção prevaleceriam. Para muitos historiadores, o período corresponderia à Era do Barroco, expressão artística patrocinada pelo Estado e pela Igreja, porquanto exaltava suas riquezas, luxo, poder e glória com monumentais palácios, imensos jardins, magníficas igrejas[6]. A grande Arte continuaria voltada para os gostos da aristocracia e do Clero. A arte decorativa, o mobiliário e a tapeçaria seriam encorajados, e o Teatro, as Artes Plásticas, as Letras e a Música dariam maior brilho e esplendor à magnificência da vida da corte e do Alto Clero. Felipe III e Felipe IV, na Espanha; Luiz XIII e Luiz XIV, na França; a Casa de Orange, nos Países Baixos; bem como os pontificados de Urbano VII (1623-1644), Inocêncio X (1644-1655) e Alexandre VII (1655-1667), são alguns exemplos eloquentes da promoção das Artes. A Academia Francesa seria fundada, em 1635, por iniciativa de Richelieu, a qual viria a ser, oportunamente, seguida em outros países.

Nomes marcantes da História das Artes ilustram o período: na Literatura, Cervantes, Shakespeare, Lope da Vega, Tarso de Molina, Calderón

[6] JAGUARIBE, Helio. *Um Estudo Crítico da História*.

de la Barca, Milton, Bunyan, Dryden, Pepys, Corneille, Racine, Molière, La Rochefoucauld, La Fontaine, Boileau, Bossuet, La Bruyère, Fénelon, Mme La Fayette, Francisco Manuel de Mello e Antônio Vieira; na Arquitetura e Escultura, Bernini, Longhena, Borromini, Fontana, Churriguera, Mansart, Le Vau, Le Nôtre, Le Brun, Puget, Inigo Jones, Wren; na Pintura, Caravaggio, El Greco, Zurbarán, Velásquez, Murillo, Rubens, Van Dick, Franz Hals, Rembrandt, Vermeer, Hobbema, Ruysdael, Poussin, Watteau; e na Música, Monteverdi, Purcell, Lully, Charpentier, Schutz, Schein.

O século XVII foi, igualmente, fértil e inovador no campo da Filosofia. Na evolução do pensamento ocidental, o século ocupa uma posição de extrema importância, porquanto foi nessa época que, apesar da religiosidade e credulidade da esmagadora maioria da Sociedade, renasceria, independente da Teologia, a chamada Filosofia Moderna. Os teólogos, os Doutores da Igreja e os Reformadores, responsáveis pela formação e imposição de uma mentalidade e de uma concepção do Mundo prevalecente por mais de mil anos, seriam confrontados com novos conceitos, formulações e ideias. Tratava-se, na realidade, de uma revolução que resultaria no início da modernidade e no advento da Ciência Moderna. Precedidos por pensadores do quilate de Erasmo, More e Montaigne, as grandes correntes filosóficas do século XVII[7] teriam impacto decisivo no meio intelectual e científico.

Os mais importantes e influentes filósofos do período[8] foram, por ordem cronológica: Francis Bacon (1561-1626), autor de *Novum Organum*, *Da Proficiência e do Progresso do Saber Divino e Humano*, *Sobre a Dignidade e Desenvolvimento das Ciências*, *História Natural* e *Nova Atlântida;* Thomas Hobbes (1588-1679), que escreveu *Leviatã;* René Descartes (1596-1650), considerado por muitos como o fundador da Filosofia Moderna, autor de *Discurso sobre o Método*, *Meditações* e *Objeções e Respostas*; Blaise Pascal (1623-1662), autor dos *Pensamentos*; Baruch Espinosa (1632-1677), autor de *Princípios da Filosofia Cartesiana*, *Tratado da Correção do Intelecto*, *Ética* e *Tratado Teológico e Político*; John Locke (1632-1704), autor de *Carta acerca da Tolerância*, *Primeiro Tratado sobre o Governo Civil*, *Segundo Tratado sobre o Governo*, *Ensaio sobre o Entendimento Humano* e *Ensaios sobre a Lei da Natureza*; e Gottfried Wilhelm Leibniz (1646-1716), autor de *Teodiceia*, *Monadologia*, *Sobre o Verdadeiro Método em Filosofia e Teologia*, *Discurso de Metafísica* e *Novos Ensaios sobre o Entendimento Humano*.

O debate filosófico e o cruzamento de correntes de pensamento conflitantes sobre racionalidade, conhecimento inato, liberdade de

7 RUSSELL, Bertrand. *A History of Western Philosophy*.
8 COLEÇÃO Os Pensadores. *Bacon, Hobbes, Descartes, Locke, Pascal, Espinosa, Leibniz.*

pensamento, empirismo, determinismo, mecanicismo, absoluto e relativo, Estado e povo, formas de governo, Universo, Natureza, valores morais e tantos outros temas refletiam a posição central da Filosofia na conformação da modernidade[9]. Os temas e enfoques, tão a gosto da Escolástica, perderiam espaço e significado, à medida que Filosofia e Teologia seguiam caminhos distintos, e uma nova mentalidade era forjada. No interior da própria Igreja católica, pensadores submeteriam a Teologia ao escrutínio da Filosofia e da Ciência, na busca de uma síntese mais consentânea com o espírito e os anseios da intelectualidade da época. Quatro nomes de prelados filósofos-cientistas sobressaíram no século XVII: Campanella (1568-1639), autor de *Filosofia Demonstrada pelos Sentidos*, *Apologia de Galileu*, *Cidade do Sol* e *Teologia*, que sofreu várias perseguições da Igreja; Marin Mersenne (1588-1648), matemático e físico, autor de *A Verdade das Ciências*, *Novas Descobertas de Galileu*, *Novas Observações Físico-Matemáticas* e *Questões Teológicas, Físicas, Morais e Matemáticas*; Pierre Gassendi (1592-1655), físico, crítico de Aristóteles, defensor da Filosofia epicurista, a qual procurou compatibilizar com o Cristianismo, escreveu *Exercitaciones paradoxicae adversus Aristotelem*; e Nicolas de Malebranche (1638-1715), físico, cartesiano, acusado de ateísmo, autor de *Recherche de la Verité*, *Traité de la communication du mouvement*, *Les Entretiens d'un philosophe chrétien et d'un philosophe chinois sur l'existence de Dieu*.

Tal evolução significaria terrível golpe no Mundo contemplativo, imutável, hierarquizado e perfeito, criado por uma Teologia milenar, que se mostrava um empecilho e um entrave, por inadequada, para o desenvolvimento de novas concepções requeridas pelos tempos modernos. O neoplatonismo e o neopitagorismo, emergentes do Humanismo renascentista, colocariam em xeque, nas Sociedades católicas, o aristotelismo, dogmatizado pelo Tomismo, ao mesmo tempo em que nos meios intelectuais da Europa se reforçava a crença na utilização do conhecimento científico na comprovação da obra divina da criação do Homem e do Universo.

As importantes transformações ocorridas nos diversos setores (político, social, econômico, cultural, filosófico, científico, técnico, religioso) resultariam no surgimento e afirmação, no cenário europeu do século XVII, do Capitalismo, do Individualismo, do Nacionalismo e do Racionalismo. Esse Mundo novo se refletiu numa nova sistematização cosmológica, obra do ramo das Ciências Exatas da Ciência Moderna (Galileu, Kepler, Descartes, Huygens e Newton), no avanço dos demais ramos da Ciência (Física, Química, Ciências do Homem e da Terra), no advento do pensamento científico e na formulação de métodos de

[9] MARCONDES, Danilo. *Iniciação à História da Filosofia.*

procedimento e de pesquisa[10]. A Filosofia Natural, cumprido seu papel histórico, evoluiria, e em bases e com métodos e objetivos novos surgiria a Ciência Moderna.

6.3 Bases da Ciência Moderna

Três aspectos fundamentais na evolução da Ciência Moderna serão examinados neste capítulo. O início do entrosamento Ciência e Tecnologia, a formulação de metodologias adequadas para o avanço de diversos ramos das Ciências e para a formação de um pensamento científico, e o surgimento de um novo ambiente intelectual representado pelas Sociedades científicas que foram responsáveis, em grande parte, pelo advento no século XVII do que se convencionou chamar de Ciência Moderna. Esse processo não abarcaria, contudo, o universo científico. Os ramos da Ciência a se beneficiarem dessa evolução, no século XVII, seriam, principalmente, os da Astronomia, Mecânica, Óptica e Magnetismo, os quais, agrupados como Ciências Exatas, seriam os primeiros a se firmarem e a se constituírem em novas bases metodológicas, embora ainda inspirados por uma metafísica predominante no meio intelectual. Outros ramos da Ciência Moderna (Química, Biologia, Sociologia) só viriam a se estabelecer, em bases metodológicas científicas, nos séculos seguintes.

Um exame mais específico desses aspectos da evolução da Ciência no século XVII se torna conveniente.

6.3.1 Ciência e Tecnologia

É evidente, nos dias atuais, a íntima vinculação Ciência-Tecnologia, cuja interação tem sido alta e reciprocamente benéfica. A Ciência, por exemplo, permite a criação de técnicas e a melhoria das já existentes, enquanto a Tecnologia contribui com instrumentos e máquinas para o desenvolvimento científico. A relevância dessa interdependência e entrosamento na evolução da Ciência é reconhecida e comentada[11]. Na realidade, a História da Ciência seria incompleta e imperfeita se limitada à história da conceituação e das realizações científicas, sem atentar para a evolução e colaboração, nesse contexto, da Tecnologia[12]. Essa mútua dependência é, contudo, relativamente

[10] BARBOSA, Luiz Hildebrando Horta. *História da Ciência.*
[11] HENRY, John. *A Revolução Científica.*
[12] BUTTERFIELD, Herbert. *As Origens da Ciência Moderna.*

recente, pois difere bastante daquela que prevalecera em outras etapas da História da Ciência. A confluência de interesses, principalmente a partir do século XVII, determinaria uma cooperação e uma complementação responsáveis pelo extraordinário desenvolvimento da Ciência e da Tecnologia nos séculos seguintes, que, por sua vez, por meio de inovações, descobertas e invenções, possibilitariam a eclosão da Revolução Industrial.

A Filosofia Natural, criada na Grécia, era abstrata, dedutiva, racional, especulativa, fruto da observação e do bom senso, mas destituída de qualquer sentido utilitário. Tratava-se de pura construção intelectual teórica, essencial para a explicação dos fenômenos naturais e compreensão do Mundo, mas sem aplicação prática na vida cotidiana, já que não havia interesse em colocar o conhecimento intelectual a serviço das necessidades da comunidade. A elite cultural desdenhava o trabalho manual, reputado subalterno e sem nobreza e dignidade. O trabalho manual escravo sustentava uma economia que prescindia da, ou tornava antieconômica, utilização de máquinas, não havendo, portanto, incentivo a inovações e descobertas no campo técnico. Assim, não havia diálogo, nem troca de conhecimentos e informações entre os filósofos naturais e os práticos e artífices. Poucas e brilhantes exceções a essa atitude geral de menosprezo por atividades de pesquisa e experimentação seriam, no período alexandrino, Ctesíbio, Herão e Arquimedes, este considerado como o maior cientista da Antiguidade. O grande avanço técnico alicerçava-se, portanto, em bases empíricas, acumuladas ao longo do tempo pela observação e experiência, razão principal de sua lenta evolução. Havia, assim, um fosso separando o conhecimento intelectual científico e o trabalho técnico artesanal, impedindo-os de interagirem[13].

O desenvolvimento técnico durante toda a Idade Média teve as mesmas características da época clássica, tanto mais que o conhecimento científico grego estava indisponível, ou era insuficiente e inadequado no período medieval. Como o trabalho manual continuava relegado às classes sociais inferiores de servos, práticos e artesãos, ignorantes do saber teórico, e como não dispunha a elite cultural de experiência e de espírito pragmático, a distância e a falta de comunicação entre esses dois campos se mantiveram por séculos, ao ponto em que o mútuo desconhecimento e a independência das respectivas atividades e realizações inviabilizavam o estabelecimento de uma útil cooperação e interação. Deve-se ressaltar, ainda, que o latim, língua franca e cultural adotada pelos meios científicos, era, praticamente, desconhecido dos artesãos, engenheiros e práticos, impossibilitando seu acesso a essa fonte de conhecimento. Desta forma, as importantes inovações

[13] ROSSI, Paolo. *O Nascimento da Ciência Moderna na Europa.*

técnicas havidas nessa época decorreram das crescentes necessidades da Sociedade, e não da utilização do conhecimento científico[14].

Somente a partir do Renascimento Científico a situação começaria a se alterar, pelo reconhecimento, por ambos os lados, da necessidade de dispor de conhecimento teórico e prático para o avanço de suas respectivas atividades. Engenheiros, marinheiros, médicos, matemáticos, artesãos e artistas contribuiriam de diversas maneiras para o começo de um entrosamento e complementaridade entre a Ciência e a Técnica, inclusive com a divulgação de suas experiências. Vários exemplos comprovam essa evolução: o autodidata Leonardo da Vinci foi um ardoroso apologista da experimentação e da matematização, famoso por seus estudos anatômicos, inovações e invenções na engenharia; Vanoccio Biringuccio, autor de *Pirotechnia*, em que descreveu a fundição de metais, a fabricação de canhões e sinos, a cunhagem de moedas e a fabricação da pólvora; o filósofo Juan Luis Vives, no livro *De tratendis disciplinis*, sugeriu aos estudiosos prestarem atenção aos problemas das máquinas, da tecelagem, da agricultura e da navegação, e a visitarem as oficinas e as fazendas, e, na obra *De causis corruptarum artium*, escreveu que a ciência da Natureza não era monopólio dos filósofos e dos dialéticos[15]; o médico Georg Bauer Agrícola, que escreveu *De Re Metallica* sobre métodos de mineração; o matemático Girolamo Cardano, inventor do anel de suspensão cardan; o anatomista Andrea Vesalio, crítico da dicotomia, na época, entre o médico-professor e o seccionador; o cirurgião Ambroise Paré, autor de muitas obras de divulgação de sua experiência profissional; o inventor e ceramista Bernard Palissy, ardoroso defensor da importância do laboratório sobre a cultura livresca; o matemático e físico Simão Stevin, que projetou e construiu máquinas e moinhos movidos a água; o marinheiro Robert Norman, autor de A *Nova Atração*, sobre Magnetismo e inclinação da agulha magnética, estudo que viria a ser aproveitado por William Gilbert.

O valor dos métodos e processos dos artesãos, artistas e engenheiros, para fins do progresso do saber, seria gradualmente aceito. Francis Bacon (1561-1626) seria um dos primeiros a reconhecer a importância da experiência, do conhecimento artesanal e da experimentação no processo científico[16], tornando-se um dos principais arautos da Ciência Experimental.

A ausência de adequados instrumentos, em épocas anteriores, fora um fator limitativo para a evolução do conhecimento científico; até

---

[14] ANDERY, Maria Amália et al. *Para Compreender a Ciência.*

[15] ROSSI, Paolo. *O Nascimento da Ciência Moderna na Europa.*

[16] MASON, Stephen F. *Historia de las Ciencias (volume 2).*

o Renascimento Científico, a instrumentação se reduzia a uns poucos em uso na Astronomia, como o astrolábio, o quadrante e as esferas armilares.

A partir do século XVII, a situação se modificaria, com o estabelecimento de uma comunidade de interesses e de propósitos entre a Ciência e a Tecnologia. A técnica, até então empírica, passaria a incorporar, cada vez mais, conhecimento científico, assim como a Ciência se beneficiaria dos produtos tecnologicamente mais apropriados para suas atividades. A Ciência Experimental ganharia o apoio de intelectuais e cientistas (Galileu, Boyle, Hooke, Huygens), abrindo novas perspectivas para os práticos e inventores. A contribuição das invenções, inovações e descobertas, através de aparelhos, equipamentos e instrumentos de precisão e medição, seria imensa e decisiva para o rápido desenvolvimento científico e para o surgimento da chamada revolução científica. Ao mesmo tempo, tais aparelhos e instrumentos facilitariam a resolução de problemas nos vários ramos da Ciência, em especial das chamadas Ciências Exatas.

Caberia citar, nesse contexto, as seguintes invenções, que seriam constantemente aperfeiçoadas: o microscópio (1590, Zacarias Jansen); o termômetro (1593, Galileu); a luneta (1608, Hans Lippershey); a turbina a vapor (1629, Giovanni Branca); a régua de cálculo (1631, Oughtred); o micrômetro (1636, Gascoigne); a máquina de somar (1642, Pascal); o barômetro (1643, Torricelli); a bomba de ar (1650, Guericke); o relógio de pêndulo (1656, Huygens); a máquina de calcular (1671, Leibniz); a máquina de pistão a vapor (1687, Denis Papin); a bomba a vapor (1698, Savery); a semeadeira (1701, Jethro Tull); a máquina a vapor de baixa pressão (1712, Newcomen); e o termômetro de mercúrio (1714, Fahrenheit). As consequências desse desenvolvimento técnico seriam imediatas nas pesquisas, por exemplo, da Matemática, da Astronomia, da Física e da Biologia, bem como evidenciam o avanço alcançado no setor industrial (polimento de metais e lentes, metalurgia, vidro) e no aproveitamento de nova fonte de energia (vapor). Como escreveu Paolo Rossi, "os seis grandes instrumentos científicos que foram construídos no decurso do século XVII (o microscópio, o telescópio, o termômetro, o barômetro, a bomba pneumática, o relógio de precisão) aparecem ligados de modo inseparável ao avanço do saber"[17].

Essa série exemplificativa de invenções de instrumentos científicos e de aparelhos e máquinas, de ampla utilização nas pesquisas científicas, evidencia a complementaridade que se estabeleceu, no século XVII, entre os setores. Nesse sentido, ainda que o latim continuasse a ser utilizado, preferencialmente, na correspondência e nos livros científicos

[17] ROSSI, Paolo. *O Nascimento da Ciência Moderna na Europa.*

(o que facilitava a cooperação entre os intelectuais), crescia o número de publicações e obras de caráter técnico e científico nos idiomas nacionais, como o alemão, o francês e o inglês, permitindo o acesso a essas informações por um público maior. Os benefícios recíprocos dessa cooperação Ciência-Tecnologia se traduziriam nas revoluções havidas nos domínios industriais e científico da época.

6.3.2 Metodologia para o Conhecimento

Para a emergente Sociedade intelectual do século XVII, beneficiada e influenciada pelas transformações havidas principalmente no Renascimento Científico, as ideias e as explicações do Mundo medieval sobre a Natureza não eram satisfatórias. O conhecimento via observação, acumulação de dados empíricos e enumeração dos fenômenos, resultara equivocado, conforme comprovavam os recentes avanços no campo da Astronomia, da Mecânica, da Anatomia, da História Natural e outros[18]. Os descobrimentos marítimos, as invenções (bússola, pólvora) e as inovações técnicas abriram novos horizontes e novas perspectivas para uma intelectualidade interessada em compreender o Mundo. O saber da Antiguidade, da Autoridade e da Escolástica já era abertamente contestado, pois era inadequado para satisfazer a mudança ocorrida na estrutura do pensamento, agora requerendo uma explicação objetiva e racional do Universo. A perda de confiabilidade nos métodos utilizados para atingir um real conhecimento levaria à necessidade de se buscar uma nova metodologia, mais apropriada para esse fim.

Dois filósofos e dois cientistas do século XVII se dedicaram a essa tarefa, da qual resultariam procedimentos metodológicos divergentes, mas não conflitantes: os filósofos Francis Bacon, defensor do empirismo e da indução, e pioneiro da Ciência experimental; René Descartes, defensor do racionalismo e da dedução pura, e respeitado como fundador da Filosofia Moderna; o físico e matemático Galileu Galilei, iniciador do método matemático e experimental, e considerado o fundador da Física Moderna; e o físico Isaac Newton, que se utilizaria de uma síntese metodológica, com a incorporação do empirismo indutivo baconiano, o racionalismo dedutivo cartesiano e o matemático experimental galileano.

---

[18] MASON, Stephen F. *Historia de las Ciencias.*

6.3.2.1 Francis Bacon (1561-1626)

Nasceu em Londres, em 22 de janeiro de 1561, pertencente a uma família nobre; seu pai exerceu altas funções de Guarda do Selo Real, e seu tio foi ministro de Elizabeth I. Bacon estudou de 1573 a 1575, no Trinity College, da Universidade de Cambridge, na qual adquiriu conhecimentos de Filosofia e Escolástica. Ingressou na conceituada Escola de Direito de Gray's Inn, em 1576, mas passou os anos de 1578 e 1579 na França, a serviço do Embaixador inglês. De regresso ao país, concluiu o curso de Direito, se elegeu membro do Parlamento e, em 1589, assumiu cátedra em Gray's Inn. Encarregado, pela Rainha, de preparar a acusação legal de seu amigo e protetor Conde de Essex, indiciado por corrupção e por atentar contra a Coroa, desincumbiu-se muito bem da tarefa, o que lhe valeu posição de reconhecimento na corte. Com Jaime I, ocupou vários cargos importantes (Guarda do Selo Real, Lord Chanceler) e recebeu vários títulos nobiliárquicos (Cavaleiro, Barão de Verulâmio, Visconde de Santo Albano). Acusado de corrupção, perdeu, em maio de 1621, a Guarda do Selo Real, foi excluído de todos os postos e banido da corte, multado em 40 mil libras (o pagamento da multa foi suspenso) e encarcerado na Torre de Londres, onde permaneceu apenas quatro dias, graças à intervenção do Rei. Bacon abandonou, então, a vida pública, e se dedicou exclusivamente ao trabalho intelectual[19]. Faleceu em 9 de abril de 1626, vitimado por uma bronquite adquirida no inverno, ao se expor ao intenso frio, devido às suas experiências sobre a putrefação da carne e a refrigeração.

Escreveu Bacon várias obras[20]: *Ensaios* (1597), em que revelou um espírito mundano e cultivado em letras clássicas e assuntos bíblicos; *Da Proficiência e do Progresso do Saber Divino e Humano* (ou O Avanço do Saber, 1605), no qual tratou, pela primeira vez, de temas científicos e filosóficos; *Pensamentos e Conclusões* (1607), em que procurou esclarecer sua interpretação da Natureza e da Ciência operativa; *Novum Organum* (ou *Verdadeiras Indicações acerca da Interpretação da Natureza*, 1620), sua principal obra, em que expôs, por meio de aforismos, suas ideias sobre a evolução histórica do Pensamento e da Filosofia e sobre a metodologia a ser adotada para o desenvolvimento do conhecimento e da Ciência; *História Natural* (1622), *Sobre a Dignidade das Ciências* (1623) e a utopia póstuma *Nova Atlântida* (1627), cidade utópica com a Casa de Salomão, modelo de instituição de pesquisa científica na qual viviam e trabalhavam sábios.

O ambicioso projeto de Bacon de escrever um Tratado a ser chamado de *A Grande Instauração*, em seis partes, não foi inteiramente

[19] COLEÇÃO Os Pensadores – *Bacon.*
[20] COLEÇÃO Os Pensadores – *Bacon.*

realizado. Sua obra *Sobre a Dignidade das Ciências* corresponderia à 1ª parte (classificação das Ciências) do Tratado; o *Novum Organum*, à 2ª parte (metodologia científica), e a *História Natural* à 3ª parte (coleta de dados empíricos); faltariam a parte 4ª, que se ocuparia da aplicação do novo método a tais dados; a parte 5ª, que trataria das teorias científicas passadas e presentes, e a parte 6ª, que consistiria da nova Filosofia, organizada num sistema completo de axiomas.

Bacon ocupa uma posição de relevo na História do Pensamento moderno, pela sua valorização do método experimental contra a Ciência teórica e especulativa, por sua rejeição da Escolástica, por sua concepção de um Pensamento crítico, e por sua defesa em prol do progresso da Ciência e da Técnica[21]. Sem ser um cientista, Bacon foi, contudo, na História da Ciência, um pioneiro, na tentativa de sistematização lógica do procedimento científico[22]. Inspirou a fundação da Sociedade Real de Londres, e Kant dedicou-lhe a *Crítica da Razão Pura*.

Seu propósito declarado não era criar uma Escola filosófica (o que criticava em Platão e Aristóteles), nem o de formular leis e teorias científicas, mas o de criar uma metodologia adequada à construção do conhecimento. Segundo Bacon, o lento e precário progresso do saber se devia, exatamente, a procedimentos impróprios e equivocados, que criaram uma Ciência inútil e estéril quanto a resultados práticos para a Sociedade humana. Em seu entender, "a verdadeira e legítima meta das Ciências é a de dotar a vida humana de novos inventos e recursos" (afor. I, LXXXI)[23], o que não seria possível obter com o método empregado, e limitado, à observação dos fatos e à enumeração dos dados. O conhecimento não tem valor em si, mas, pelos resultados que possa gerar. Sua frase preferida era "Saber é poder", ou seja, utilizar o conhecimento em benefício da Humanidade, pois o conhecimento das Leis da Natureza permitiria ao Homem fazer previsões e controlar os fenômenos. O conhecimento pelo conhecimento não fazia sentido para Francis Bacon, por sua inutilidade para a Sociedade. A fim de sanar essa grave falha, a principal tarefa seria a de criar uma nova metodologia, uma nova via que, diferente da até então utilizada, pudesse estabelecer as bases sólidas para o progresso do conhecimento humano[24].

Consequente e coerentemente, ao longo de sua mais importante obra, o *Novum Organum* (1620), Bacon apresentaria contundente e impiedosa crítica às demais Filosofias (Pitágoras, Platão, Aristóteles, Tomás de Aquino) e métodos de desenvolvimento do conhecimento, bem

---

[21] MARCONDES, Danilo. *Iniciação à História da Filosofia.*
[22] RUSSELL, Bertrand. *A History of Western Philosophy.*
[23] BACON, Francis. *Novum Organum.*
[24] COHEN, I. Bernard. *Revolution in Science.*

como condenaria a superstição, os preconceitos e as ilusões. Dois aspectos interligados caracterizariam, então, a Filosofia baconiana: um pensamento crítico, contido na Teoria dos Ídolos, e sua defesa do método indutivo no conhecimento científico e de um modelo de Ciência antiespeculativo e integrado com a Técnica.

A Teoria dos Ídolos, exposta nos aforismos I; XXXVIII a I; XLIV do *Novum Organum*, foi concebida para identificar os óbices que bloqueiam a mente humana, impedindo o verdadeiro conhecimento. Os ídolos seriam de quatro gêneros: da Tribo, da Caverna, do Foro e do Teatro (aforismo XXXIX); o remédio apropriado para afastá-los seria a formação de noções e axiomas pela verdadeira indução (aforismo XL).

Os Ídolos da Tribo resultariam da própria natureza humana, da própria espécie humana. Discordando de que os sentidos são a medida das coisas, e afirmando que os "maiores embaraços e extravagâncias do intelecto provêm da obtusidade, da incompetência e das falácias dos sentidos" (aforismo L), Bacon defendia que as informações recebidas pelo intelecto seriam confiáveis quando corrigidas pela experimentação: "Toda a verdadeira interpretação da Natureza se cumpre com instâncias e experimentos oportunos e adequados, onde os sentidos julgam somente o experimento e o experimento julga a Natureza e a própria coisa" (aforismo L). O intelecto humano estaria igualmente sujeito a falhas, uma das quais a tendência de generalizar a partir de casos favoráveis, sem atentar para as instâncias negativas (aforismo XL).

Os Ídolos da Caverna seriam consequência das características individuais de cada Homem, de sua constituição física e mental, das influências do meio, das leituras, dos hábitos, do estado de espírito. O espírito humano é coisa vária, sujeita a múltiplas perturbações e, até certo ponto, sujeita ao acaso (aforismo XLII).

Os Ídolos do Foro seriam as falhas provenientes do uso da linguagem e da comunicação entre os homens. Bacon seria categórico: "As palavras impostas de maneira imprópria e inepta bloqueiam espantosamente o intelecto... as palavras forçam o intelecto e o perturbam por completo. E os homens são, assim, arrastados a inúmeras e inúteis controvérsias e fantasias" (aforismo XLIII).

Os Ídolos do Teatro seriam distorções introduzidas pela aceitação de falsos sistemas filosóficos "em que figuram Mundos fictícios e teatrais" e de regras inadequadas de demonstração. Cairiam nesse grupo igualmente os "princípios e axiomas das Ciências que entraram em vigor, mercê da tradição, da credulidade e da negligência" (aforismo XLIV). Ao longo do *Novum Organum*, o autor apresentaria severas críticas às diversas

Escolas filosóficas, em particular à de Aristóteles e à de seus seguidores, os escolásticos, por seu dogmatismo e esterilidade, que elaborariam teorias saídas de suas cabeças, sobre a Natureza, sem com ela se relacionarem[25].

Em vista da estagnação da Ciência por causa dos bloqueios criados pelos ídolos e dos métodos errados propostos pelas diversas Escolas filosóficas, Bacon apresentaria um novo modelo, uma nova metodologia, um caminho seguro para o desenvolvimento científico. Neste sentido, o método correto seria a realização de um grande número de experiências ordenadas, das quais seriam retirados os axiomas e, a partir destes, propor-se-iam novos experimentos. O aforismo XIX é muito claro a respeito:

> Só há e só pode haver duas vias para a investigação e para a descoberta da verdade. Uma, que consiste no valer-se das sensações e das coisas particulares aos axiomas mais gerais e, a seguir, descobrirem-se os axiomas intermediários a partir desses princípios e de sua inamovível verdade. Essa é a que ora se segue. A outra, que recolhe os axiomas dos dados dos sentidos e particulares, ascendendo contínua e gradualmente até alcançar, em último lugar, os princípios da máxima generalidade. Este é o verdadeiro caminho, porém ainda não instaurado.

Assim, o primeiro (e vigente) método partiria de algumas observações esparsas e assistemáticas e de algumas sensações para propor princípios gerais, enquanto a segunda seria a construção gradual de princípios gerais baseados em grande número de observações particulares. Bacon, no aforismo XXII, explicou a diferença:

> tanto uma quanto a outra partem dos sentidos e das coisas particulares e terminam nas formulações da mais elevada generalidade. Mas é imenso aquilo em que discrepam. Enquanto que um perpassa na carreira pela experiência e pelo particular, a outra aí se detém de forma ordenada, como cumpre. Aquela, desde o início, estabelece certas generalizações abstratas e inúteis, esta se eleva gradualmente àquelas coisas que são realmente as mais comuns na Natureza.

A esse método novo Bacon daria o nome de indução, que, baseada em observações, permitiria o conhecimento do funcionamento da Natureza e, observando a regularidade entre os fenômenos e estabelecendo relação entre eles, permitiria formular leis científicas que seriam, assim, generalizações indutivas[26].

---

[25] ANDERY, Maria Amália et al. *Para Compreender a Ciência.*

[26] MARCONDES, Danilo. *Iniciação à História da Filosofia.*

Importante registrar, ainda, a divisão, em três índices, que Bacon faz das experiências: o índice de presença, no qual seriam registradas todas as condições em que se produz o fenômeno que se busca entender; o índice de ausência, que conteria as condições sob as quais o fenômeno estudado não se verifica; e o índice de graduação, com o registro das condições sob as quais o fenômeno varia. Assim, estaria estabelecida a diferença entre a indução definida por Bacon e a utilizada por Aristóteles, limitada esta ao registro e à enumeração das condições em que se verifica o fenômeno (índice de presença), sem considerar as outras duas situações ou índices.

Bacon tem sido criticado por não ter dado a devida importância à Matemática no processo científico; na realidade, temia que a Matemática, de instrumento, se tornasse dominadora da Ciência. No aforismo XCVI, Bacon assinalaria que as "existentes (filosofias) acham-se infectadas e corrompidas: na Escola de Aristóteles, pela Lógica; na Escola de Platão, pela Teologia natural; na segunda Escola de Platão, de Proclo e outros, pela Matemática, a quem cabe rematar a Filosofia, e não engendrar ou produzir a Filosofia Natural". A pouca importância que reservava à Matemática é atribuída, por alguns, ao seu deficiente conhecimento da matéria. Para Butterfield,

> De certa forma ele viu a importância da Matemática – a necessidade de fazer cálculos sobre os resultados das experiências da Física, por exemplo –; fez, mesmo, uma declaração enfática sobre este assunto. O que lhe faltou foi uma visão geométrica, a capacidade de discernir aquilo que era suscetível de medição e de tornar um dado problema científico numa questão de Matemática[27].

Curioso notar que Bacon desconheceria os trabalhos de Andreas Vesalius, de William Harvey e de William Gilbert, e que, mesmo após a publicação da *Nova Astronomia*, de Kepler, em 1609, continuaria a rejeitar a teoria heliocêntrica de Copérnico[28].

6.3.2.2 Galileu Galilei (1564-1642)

Considerado o fundador da Mecânica Moderna, ocupa Galileu um lugar de primeira plana na História da Ciência, por suas múltiplas

---

27 BUTTERFIELD, Herbert. *As Origens da Ciência Moderna.*
28 RUSSELL, Bertrand. *A History of Western Philosophy.*

e pioneiras contribuições, de grande valor, para o desenvolvimento do pensamento científico e dos ramos das Ciências Exatas. Tanto como cientista quanto como filósofo, sua extensa obra seria um marco inicial no processo evolutivo para a modernidade. Professor de Matemática, dedicou-se, em especial, à Geometria, utilizando-a em seus estudos de Física e Astronomia. Explorou, igualmente, os vários campos da Física, como a Óptica geométrica (lentes, refração e reflexão da luz); Óptica física (natureza da luz); Termologia (invenção do termômetro); e Mecânica (Dinâmica e Estática). Na Astronomia de observação, foi o primeiro a utilizar o telescópio, o que lhe permitiria a descoberta de vários fenômenos e corpos celestes imperceptíveis a olho nu. Defensor da teoria heliocêntrica, Galileu comprovaria o acerto da teoria copernicana, sofrendo, por causa disto, o cerceamento de divulgar suas ideias. Como filósofo, procurou estabelecer uma metodologia que permitisse o conhecimento seguro dos fenômenos da Natureza. Para tanto, a Matemática ocuparia um lugar central no método conhecido como matemático-experimental. Como bem sintetizou Tarnas, "em sua obra, Galileu realmente apoiou a teoria copernicana, iniciou a matematização da Natureza, apreendeu a ideia de força como agente mecânico, lançou as bases da Física experimental e da Mecânica Moderna, além de elaborar os princípios operacionais do moderno método científico"[29]. Nesse processo, estruturou o conhecimento da Natureza em novas bases, abalando os alicerces da concepção medieval do Mundo. A metafísica ou o finalismo aristotélico-escolástico, segundo o qual tudo na Natureza ocorria para cumprir desígnios superiores, seria contestado. Na nova Física de Galileu, já não se colocaria a questão do porquê dos fenômenos, mas a de como ocorriam os fenômenos. O método puramente lógico e dedutivo, da Filosofia de Aristóteles, quando aplicado para explicar os fenômenos físicos, seria refutado.

Galileu nasceu em 15 de fevereiro de 1564 em Pisa, cidade onde moraria até seus dez anos de idade. Em 1574, sua família se mudou para Florença, tendo Galileu sido encaminhado para o Monastério dos Jesuítas de Villombrosa, perto dessa cidade, para seus primeiros estudos. Em 1581, matriculou-se na Universidade de Pisa como estudante de Medicina, mas não chegou a se formar. Consta que foi nesse mesmo ano que o jovem Galileu, ao observar o movimento oscilatório de um dos lustres da Catedral de Pisa, enquanto contava as próprias pulsações, constatou que o movimento era periódico, e descobriu, assim, o isocronismo das oscilações do pêndulo[30]. Por essa época, travou conhecimento das obras de Euclides e Arquimedes, o que despertaria

29 TARNAS, Richard. *A Epopeia do Pensamento Ocidental.*
30 ROUSSEAU, Pierre. *Histoire de la Science.*

sua verdadeira vocação e interesse pela Geometria e pela Mecânica. Em 1584, escreveu *Juvenilia*, na linha da Cosmologia e da Física de Aristóteles.

Diante de dificuldades financeiras, largou o curso de Medicina e se transferiu para Florença, em 1585, onde passaria três anos, vivendo de aulas particulares de Matemática e Mecânica, mas interessado em ocupar uma cátedra numa universidade, o que lhe asseguraria melhor situação econômica. Nessa fase, abandonou, definitivamente, os estudos de Medicina e se dedicou particularmente aos problemas de hidráulica, mecânica e balística. Inventou a balança hidrostática (1588) e descreveu os princípios hidrostáticos no manuscrito *La Bilancetta* (A Pequena Balança); em outro manuscrito, intitulado *O Centro de Gravidade e suas Propriedades*, tratou da gravidade dos sólidos. Esses pequenos opúsculos tiveram grande repercussão, firmando a reputação de Galileu, a ponto de lhe ter sido oferecida a cátedra de Matemática da Universidade de Pisa, em 1589, com a incumbência de ensinar Geometria e Astronomia ptolomaica aos estudantes de Medicina, que necessitariam conhecer noções de Astronomia para uso da Astrologia em suas práticas médicas. Nesses três anos em Pisa, aprofundou seus conhecimentos matemáticos, estudou a obra de Giovanni Benedetti sobre a teoria do ímpeto e acompanhou o debate sobre a teoria de Copérnico. Escreveu *De Motu* (1590), no qual reuniu seus experimentos sobre a queda livre dos corpos, e afirmava, em oposição a Aristóteles, que todos os corpos são intrinsecamente pesados, e que a leveza era somente uma propriedade relativa; por isso, o fogo sobe, não por possuir a qualidade da leveza, mas por ser mais leve que o ar[31]. Inventou o termômetro de água (1592) e publicou *Della Scienza Mechanica* sobre problemas de levantamento de peso.

A morte de seu pai, em 1591, lhe traria encargos familiares adicionais para ajudar sua mãe e irmãos, o que o levou a buscar uma posição mais rendosa. O Marquês Guidobaldo del Monte, a maior autoridade da época em Mecânica e movimento, ajudaria Galileu a obter um posto de seu interesse. Convidado, Galileu aceitou a cátedra de Matemática na Universidade de Pádua, uma das mais conceituadas, onde permaneceria por 18 anos. Entre 1592 e 1593, escreveu o *Breve istruzione all'arquitettura militare*, o *Trattato della fortificazione*, *Le Mecaniche* (publicado em 1634) e um estudo sobre o *Almagesto* de Ptolomeu. Para uso dos alunos redigiu, em 1597, o *Trattato della sfera o cosmografia*, que era uma exposição da teoria geocêntrica. Em outubro de 1604, em carta a Paolo Sarpi, anunciou a "lei da queda livre dos corpos", fundamental para todo o desenvolvimento posterior da Mecânica racional[32].

---

31 ROSSI, Paolo. *O Nascimento da Ciência Moderna na Europa.*
32 HALL, A. Ruppert. *A Revolução na Ciência – 1500-1750.*

Em 1606, publicou o opúsculo *Le operazioni del compasso geometrico militare*, e, em carta de fevereiro de 1609, a Antonio de Médici, fez referência a seus estudos sobre balística e sua nova teoria de que os projéteis descreveriam uma parábola. Uma série de documentos da época indicaria estar Galileu trabalhando em um tratado sobre movimento. Artesão habilidoso, criou ao lado da Universidade uma oficina na qual trabalhavam, sob sua orientação, fundidores, torneiros e marceneiros, na construção de equipamentos e instrumentos (lentes, telescópio, microscópio, bússola, ímã, termômetro, balança hidrostática) que utilizava em aula e em seus experimentos. Seu maior interesse, contudo, passaria a ser a Astronomia, dedicando-se a comprovar a teoria de Copérnico e a defendê-la de seus detratores.

Ciente da invenção, pelo holandês Lippershey, em 1608, de um instrumento (telescópio) que permitia ver, nitidamente, objetos a grande distância, Galileu construiu, rapidamente, um desses aparelhos, e imediatamente fez uso científico do mesmo. Suas observações e descobertas astronômicas (manchas do Sol, satélites de Júpiter, formação da Via Láctea, novas estrelas, superfície da Lua) constariam de seu famoso *Siderius nuntius* (O Mensageiro Celeste), de 1610, ano em que se transferiria para Florença, convidado pelo Grão-Duque da Toscana, Cosimo II de Medici, para as funções de Filósofo e Primeiro Matemático da corte.

Esse período florentino lhe seria bastante penoso e difícil. Inicialmente, publicaria (1612) *Exposição sobre as Coisas que estão sobre a Água*, no qual ridicularizava a teoria dos quatro elementos sublunares e o éter, ao mesmo tempo em que adotava o atomismo de Demócrito na explicação do Universo físico. Seu livro, de 1613, a *História e Demonstração sobre as manchas solares*, que tivera algumas passagens censuradas, seria alvo de violentas críticas por parte de teólogos, que viam nas teses de Galileu a destruição da perfeição do céu e uma negação dos ensinamentos bíblicos[33]. A desconfiança da Igreja sobre as ideias de Galileu era antiga, como comprovada atualmente; de acordo com documentos recentemente descobertos, já em 21 de abril de 1604, "ele fora denunciado formalmente como herético e de costumes libertinos junto ao tribunal inquisitorial de Pádua"[34]. O denunciante fora Silvestro Pagnoni, escrivão de Galileu, que o acusava de ter feito horóscopos, de não ir à missa, e de não se aproximar dos sacramentos, de frequentar uma amante, de fazer leituras pouco edificantes, etc.

Em vista da fama e prestígio, de membro recente da Academia dei Lincei, de estar próximo do poderoso governante de Florença e de gozar da compreensão de altos dignitários da Igreja, inclusive do Papa Paulo V,

33 COLEÇÃO Os Pensadores – *Galileu.*
34 ROSSI, Paolo. *O Nascimento da Ciência Moderna na Europa.*

Galileu, convencido da justeza de suas teses, expostas no livro, sobre as manchas solares, escreveria uma série de cartas, no intuito de persuadir seus destinatários. Galileu sustentaria que a tese da incorruptibilidade do céu era falsa e "errônea e repugnante às verdades incontestáveis das Sagradas Escrituras, as quais nos dizem que os céus e o Mundo inteiro são gerados, dissolúveis e transitórios", e que as passagens bíblicas não possuíam qualquer autoridade sobre controvérsias científicas. Em 7 de fevereiro de 1615, o dominicano Nicolau Lorini, que já havia acusado os copernicanos de heresia, em sermão pronunciado em novembro de 1612, apresentou contra Galileu denúncia de difundir teses heréticas. Convocado a Roma, em fevereiro de 1616, o Santo Ofício limitou-se a admoestá-lo, mas foi-lhe ordenado abandonar as ideias heréticas, deixar de aceitá-las, defendê-las e ensiná-las, de qualquer forma, mediante palavras e escritos. No mês seguinte, a Sagrada Congregação do *Index* condenou os livros de Copérnico, até que fossem corrigidos, bem como todos os livros em que a doutrina de Copérnico fosse sustentada. Durante alguns anos, Galileu permaneceria em silêncio, sem escrever sobre a teoria heliocêntrica e sem debater o tema.

Galileu continuara trabalhando, tendo escrito, no início de 1616, o *Exposição sobre o Fluxo e o Refluxo do Mar*, em forma de carta ao cardeal Orsini; nessa obra, sustentaria como causa das marés o duplo movimento da Terra: a rotação diurna do eixo terrestre, de ocidente a oriente, e a revolução anual da Terra ao redor do Sol, também de ocidente a oriente. Para Galileu, a combinação desses dois movimentos faria que cada ponto da superfície terrestre se movesse em movimento progressivo e uniforme, e mudasse de velocidade por vezes acelerando-se e por outras se retardando.

Em 1623, Galileu publicou o *Il Saggiatore* (*O Ensaiador*), "uma das obras-primas da literatura barroca, uma obra faiscante de ironia e de força polêmica"[35]. Nesse importante livro, Galileu atacou a Astronomia de Tycho Brahe; sustentou, erroneamente, que os cometas eram fenômenos ópticos, e não objetos físicos; assumiu as posições atomistas de Demócrito e expôs sua metodologia científica. Foi nessa obra que Galileu afirmou "se opor à Geometria é negar abertamente a verdade" (Introdução) e na qual consta, ainda, a famosa passagem:

> A filosofia encontra-se escrita neste grande livro que continuamente se abre perante nossos olhos (isto é, o Universo), que não se pode compreender antes de entender a língua e conhecer os caracteres com os quais está escrito. Ele está escrito em língua matemática, os caracteres são triângulos, circunferências e outras figuras geométricas, sem cujos meios é impossível

[35] ROSSI, Paolo. *O Nascimento da Ciência Moderna na Europa.*

> entender humanamente as palavras; sem eles nós vagamos perdidos dentro de um obscuro labirinto. (parag. 6)[36]

A obra desencadearia uma polêmica sem consequências imediatas, mas não desagradara ao novo Papa Urbano VIII, a quem fora dedicado *O Ensaiador*.

Incentivado pelo próprio Papa a escrever sobre a questão polêmica entre os dois sistemas cosmológicos[37], nesse mesmo ano (1623), começou a redigir o *Diálogo sobre os Dois Maiores Sistemas*, no qual confrontava as ideias de Ptolomeu e as de Copérnico; o livro só seria publicado em 1632, por temor dos editores de hostilizar o Santo Ofício. Tão logo conhecida a obra, seus adversários procuraram influenciar o Papa Urbano VIII, que admitiu, contudo, ser possível uma explicação menos crítica ao exposto pelo autor. O Inquisidor de Florença deu, então, a ordem de suspender a difusão da obra, e, em 1 de outubro de 1632, Galileu foi intimado a comparecer a Roma para ficar à disposição do Santo Ofício. Sua chegada a Roma se daria apenas no dia 13 de fevereiro, e seu comparecimento ao Santo Ofício, em 12 de abril de 1633. A acusação não era pela publicação do *Diálogo*, mas por ter extorquido, de modo fraudulento, o *imprimatur*, que contrariava o preceito de 1616, que o proibira de ensinar e defender a doutrina de Copérnico. Os consultores da Inquisição o acusavam de tentar enganar os juízes, ao dizer que o livro tinha o objetivo de mostrar a irracionalidade e a falta de lógica na doutrina copernicana, pois "o autor sustenta ter discutido uma hipótese matemática, mas acaba lhe conferindo uma realidade física, o que os matemáticos jamais fariam". A condenação foi assinada por sete dos dez juízes; sua obra foi incluída no *Index*, do qual só sairia em 1757[38]. A abjuração de Galileu ocorreu no dia 22 de junho de 1633, e a sentença o condenou ao cárcere formal; em 1º de julho, obteve sua transferência para Siena, e, depois, para a vila de Arcetri, perto de Florença, com a condição de viver retirado. No final de 1637, foi acometido por uma cegueira progressiva. Nesses anos de retiro forçado, Galileu permaneceria ativo, voltando a se interessar pela Física (Mecânica).

A maior obra científica de Galileu foi a *Exposição sobre as Duas Novas Ciências*, escrita em forma de diálogo entre três interlocutores, os mesmos do *Diálogo sobre os Dois Sistemas*, e publicada em Leiden, na Holanda protestante, em 1638; o manuscrito fora contrabandeado da Itália via França, já que estavam proibidas, nos reinos católicos, a publicação

---

36 COLEÇÃO Os Pensadores – *Galileu.*

37 RONAN, Colin. *História Ilustrada da Ciência.*

38 BRODY, David; BRODY, Arnold. *As Sete Maiores Descobertas Científicas da História.*

e a divulgação dos livros de Galileu. Nessa obra, o autor estabeleceu os fundamentos da Dinâmica, atualizou e expandiu seus estudos e pesquisas anteriores sobre a Mecânica, em particular movimento, resistência de materiais, alavancas e balística.

Cego e abatido, Galileu faleceu em Arcetri, na manhã de 8 de janeiro de 1642.

Do ponto de vista de sua filosofia e metodologia científica, os livros essenciais de Galileu são *Il Saggiatore* (*O Ensaiador*), o *Diálogo sobre os Dois Sistemas* e a *Exposição sobre as Duas Novas Ciências*.

A visão do Mundo de Galileu deve ser o ponto de partida para se entender sua metodologia científica. Sua extensa obra, no domínio da Astronomia e da Física, é uma veemente apologia da Matemática, linguagem e expressão do Universo. Neste sentido, Galileu retomou as concepções de Pitágoras e de Platão, difundidas na Itália da época pelo Humanismo e pelo neoplatonismo, nos quais a Matemática seria o único caminho correto para a compreensão do Mundo[39]. Tudo são números, teria dito Pitágoras.

Assim, para Galileu, a Natureza era um sistema simples e ordenado "que não faz por muitos meios o que pode ser feito por poucos" e que agiria através de "leis imutáveis que ela nunca transgride", mesmo que incompreensíveis ao Homem (Diálogo). Em consequência, a Natureza era o domínio da Matemática; a linguagem do Universo é a Matemática, e seus símbolos, o triângulo, o círculo e as outras figuras geométricas (*O Ensaiador*). Em outras palavras, os acontecimentos da Natureza seguiriam, assim, os princípios da Geometria. No *Diálogo*, Galileu reafirmaria que todos os ramos da Matemática se aplicariam ao Mundo natural, e que os corpos físicos são sempre figuras geométricas, embora nunca revelem as formas exatas tratadas na Geometria pura[40].

Nessas condições, as demonstrações matemáticas, e não a Lógica Escolástica, seriam a chave para desvendar os segredos do Universo. A Lógica nos ensinaria a verificar se as conclusões e demonstrações já realizadas seriam ou não coerentes, mas não nos ensinaria a chegar a conclusões e demonstrações coerentes. Nosso aprendizado, continua Galileu, decorreria não de manuais de Lógica, mas de livros de Matemática, repletos de demonstrações. Para decifrar problemas da Natureza, a metodologia seria a de buscar neles seu alfabeto e resolvê-los em termos matemáticos. As demonstrações matemáticas, ainda que abstratas, estariam fundamentadas na própria Natureza. No *Diálogo* insistiria que as observações, as demonstrações e a experimentação eram verdadeiras na

[39] TARNAS, Richard. *Epopeia do Pensamento Ocidental.*
[40] BURTT, Edwin A. *As Bases Metafísicas da Ciência Moderna.*

Astronomia e na Física: "a experiência é o verdadeiro mestre da Astronomia... a principal perspectiva dos astrônomos é apenas a de conferir razão às aparências dos corpos celestes".

Galileu admitiria, contudo, que são os sentidos que oferecem ao Homem o Mundo a ser explicado, mas não proporcionam a ordem racional, que é a única capaz de fornecer a explicação desejada. Tal ordem é sempre matemática, e só pode ser alcançada por meio dos métodos aceitos da demonstração matemática[41]. No *Diálogo*, Galileu enalteceria a vitória da razão matemática sobre a ilusão dos sentidos, dando a Astronomia de Copérnico como exemplo:

> não canso de admirar a eminência dos espíritos daqueles homens que perceberam e aceitaram tal violência a seus próprios sentidos, que sustentaram ser ela verdadeira e, com a vivacidade de seus julgamentos, ofereceram-na ao Mundo, pois foram capazes de preferir o que a Razão lhes ditava ao que as experiências sensoriais contradiziam de maneira mais manifesta... não encontro limites para minha admiração ante o fato de que tal Razão foi capaz em Aristarco e Copérnico de cometer tamanha agressão a seus sentidos, e, a despeito disso, tornar-se a senhora de sua crença.

Em decorrência do exposto (matemática e experimentação), Galileu elaboraria sua doutrina de qualidades primárias e secundárias, distinguindo o que no Mundo é absoluto, objetivo, imutável e matemático, e o que é relativo, subjetivo, flutuante e sensorial; o primeiro é o reino do conhecimento, divino e humano; o segundo é o reino da opinião e da ilusão. O já citado Burtt é muito claro ao explicar Galileu:

> A Astronomia de Copérnico e as realizações das duas novas Ciências devem-nos afastar da premissa natural de que os objetos sensoriais são os objetos reais ou matemáticos. Eles trazem certas qualidades que, manuseadas por regras matemáticas, levam-nos a um conhecimento do objeto verdadeiro, e estas são as qualidades reais ou primárias, tais como número, figura, grandeza, posição e movimento, as quais não podem, pelo exercício de nosso poder, ser separados dos corpos e que podem, também, ser integralmente expressas em termos matemáticos. A realidade do Universo é geométrica; as únicas características últimas da Natureza são aquelas nos termos das quais se torna possível certo conhecimento matemático. Todas as demais qualidades, e elas são, por vezes, muito mais flagrantes aos nossos sentidos, são secundárias, efeitos subordinados das primárias.

[41] BURTT, Edwin A. *As Bases Metafísicas da Ciência Moderna.*

Tais qualidades secundárias podem ser enganosas, pois nosso conhecimento dos objetos passa pelos sentidos.

A doutrina das qualidades seria ampliada com a adoção da teoria atômica de Leucipo, Demócrito e Epicuro, pela qual a matéria era decomposta em "átomos indivisíveis, absolutamente pequenos", que se movimentavam livremente em um infinito vazio, neutro, e, por meio de suas colisões e combinações, criavam todos os fenômenos[42]. Os átomos se caracterizavam, assim, exclusivamente por fatores quantitativos (forma, dimensão, número, movimento), e não por propriedades perceptíveis, como cheiro, textura, cor ou sabor. Todas as mutações qualitativas aparentes nos fenômenos eram criadas por diferentes quantidades de átomos, combinadas em diferentes arranjos; portanto, o universo atomista estava aberto à análise matemática. Pela teoria atômica, seria possível, assim, explicar as transformações dos sólidos em líquidos e gases, e resolver problemas como os da coesão, expansão e contração, sem admitir a existência de espaços vazios em corpos sólidos, ou a penetrabilidade da matéria (Exposição sobre as Duas Novas Ciências). Esse atomismo grego, absorvido por Galileu, o ajudaria, ainda, em sua abordagem do Universo como matéria em movimento: "o Mundo real é o Mundo dos corpos em movimento redutíveis matematicamente". Na sua concepção atômica, no entanto, os movimentos dos átomos são tratados simplesmente como causas secundárias dos fatos, enquanto as causas primárias ou últimas eram sempre concebidas e expressas em termos de força, conforme explica o citado Burtt[43].

Dessa visão do Mundo, do embasamento da doutrina de qualidades primárias e secundárias e da importância vital da Matemática no processo de conhecimento da Natureza, Galileu construiria uma metodologia científica, chamada, por alguns, como matemático-experimental, único caminho apropriado para o seguro entendimento do Mundo físico. Horta Barbosa colocou nestes termos o assunto:

> Com ele (Galileu), o objeto e o método dessa Ciência (Física) adquirem clareza. Os cientistas desde então se dedicam, cada vez mais, ao estudo e à consulta direta à Natureza: a experimentação se substitui à argumentação dedutiva. Os conhecimentos qualitativos não bastam. Busca-se medir os fenômenos, isto é, o quantitativo. A ideia da lei e sua expressão matemática vão constituir-se as bases sólidas da Física Moderna[44].

42 TARNAS, Richard. *A Epopeia do Pensamento Ocidental.*
43 BURTT, Edwin A. *As Bases Metafísicas da Ciência Moderna.*
44 BARBOSA, Luiz Hildebrando Horta*. História da Ciência.*

O método é apresentado, por alguns estudiosos, como composto de três princípios: o da observação dos fenômenos, tais como eles ocorrem, sem qualquer preconceito extracientífico, de natureza religiosa ou filosófica; o da demonstração ou experimentação, pois nenhuma afirmação sobre fenômenos naturais pode prescindir da verificação de sua legitimidade por meio da produção do fenômeno em determinadas circunstâncias; e o da regularidade matemática da Natureza, como a demonstração da queda livre dos corpos. Para outros autores[45], o método de Galileu pode ser decomposto em três etapas: a da intuição ou resolução, a da demonstração e a da experiência. A primeira etapa seria para intuir os elementos simples e absolutos em termos dos quais o fenômeno pode ser traduzido à forma matemática, ou seja, uma resolução do fato sensorial em termos quantitativos. A segunda etapa já não necessitaria recorrer aos fatos sensoriais, pois seus elementos são seus componentes reais, e, assim, as demonstrações dedutíveis a partir deles, pela Matemática pura, devem ser corretas em relação a instâncias similares do fenômeno, mesmo que não seja possível comprová-la empiricamente. A terceira etapa se constituiria, para fins de maior precisão, sempre que possível, de demonstrações cujas conclusões sejam suscetíveis de verificação por meio de experiências.

A metodologia científica de Galileu e sua visão do Mundo formam um todo coerente e harmonioso que, ao invalidar a concepção medieval do Mundo, em particular a Cosmologia e a Física de Aristóteles, incorporadas à Escolástica, lançou as bases da Física Moderna.

6.3.2.3 René Descartes (1596-1650)

De sólida e vasta cultura clássica, Descartes, além de fundador da Filosofia Moderna[46], foi um extraordinário matemático, com importantes contribuições para seu desenvolvimento, e cientista, especialmente no campo da Física. Sua obra é diversificada e enciclopédica, abrangendo desde a Matemática até a Biologia e a Moral, e sua proposta é a de criar uma nova síntese filosófica e um caminho seguro para se atingir o conhecimento real e certo. Não se limitou, assim, a criticar e a destruir a já infecunda Filosofia medieval por não cumprir mais sua função social e histórica, mas criou uma nova sistematização cosmológica, um novo sistema de construção do conhecimento via racionalismo, uma nova metodologia científica. Seus escritos na esfera da Matemática incluíram, entre outros temas, trissecção

---

[45] BURTT, Edwin A. *As Bases Metafísicas da Ciência Moderna.*
[46] RUSSELL, Bertrand. *A History of Western Philosophy.*

dos ângulos, equações cúbicas, o problema de Pappus, tangentes, criou a Geometria analítica; no terreno científico, tratou da queda dos corpos, da pressão dos líquidos no fundo dos vasos, da refração, do peso do ar, das forças, do movimento e do trabalho, dos meteoros, da Anatomia humana e da circulação do sangue[47], entre outros assuntos. A importância de Descartes é de tal ordem, no processo de modernização da Sociedade humana e de implantação do Racionalismo como meio certo de se atingir o conhecimento real, que muitos historiadores denominam o século XVII como o Século da Razão. Descartes ocupa, assim, uma posição central na História da Ciência e na História da Filosofia.

Descartes nasceu na cidade de La Haye (hoje La Haye Descartes), na Touraine, em 31 de março de 1596, de uma família de pequena e recente nobreza. Muita informação de sua biografia consta de seu célebre *Discurso do Método*, fonte principal para o período até a publicação da obra (1637). Órfão de mãe desde um ano de idade, e de saúde fraca, passou seus primeiros anos com sua avó. Aos nove anos, foi mandado para o famoso colégio jesuíta La Flèche (1606-1614). Aí, onde o latim era a única língua de ensino, e Cícero o autor mais lido, a base do estudo era a leitura, ou seja, a leitura e a explicação de um texto antigo, completada por uma repetição para afastar qualquer dúvida, e depois a erudição, que deveria enriquecer as noções recebidas de Geografia, História, etc. Esse procedimento pedagógico aplicava-se, primeiro, às Ciências de erudição (Grego, Latim, História), e, depois, ao que se chamava Filosofia (Lógica, Física, Metafísica e Moral) e às que seriam de aplicações dos princípios filosóficos (Medicina e Jurisprudência). Descartes seria muito crítico desse sistema de ensino, cujo conteúdo não continha fundamento racionalmente satisfatório. A educação recebida, contudo, estava impregnada de profundo espírito religioso e imbuída de submissão às instituições políticas. Descartes reconheceria, no entanto, que desde aquela época já se "comprazia principalmente com as matemáticas devido à certeza e à evidência de suas razões" (Discurso – 1ª Parte). Terminada sua instrução básica em La Flèche, Descartes foi para Poitiers, onde, de 1614 a 1618, estudaria Direito. Desencantado com a inutilidade prática e a insuficiência da instrução recebida, Descartes resolveu viajar, "visitar cortes e exércitos, frequentar povos de várias índoles e condição e coletar diferentes experiências". Nessa época, conheceu, estabeleceu grande vínculo de amizade e estudou Física e Matemática com Isaac Beeckman (1588-1637), médico de conhecimento enciclopédico e de enorme erudição. Iniciada a Guerra dos Trinta Anos, seguiu, então, Descartes, para a Holanda, onde se alistou (1619) no

[47] BARBOSA, Luiz Hildebrando Horta. *História da Ciência.*

Exército de Mauricio de Nassau. Na noite de 10 de novembro de 1619, teve a revelação, descrita na 2ª Parte do *Discurso*, na qual descobriu sua vocação filosófica e científica, decidindo, então, dedicar-se a descobrir os fundamentos para se alcançar um conhecimento certo e seguro de todas as coisas. Renunciou pouco depois, em 1620, à vida militar para se dedicar exclusivamente à investigação filosófica e científica[48].

Frequentou a Sociedade, viajou pela Itália, Dinamarca, Polônia, Hungria e Alemanha em busca de mais conhecimento e prosseguiu seus estudos de Matemática e Física com Beeckman. Em 1626, fixou residência em Paris, onde passou a frequentar os salões e as reuniões intelectuais. Dessa época são seus escritos[49] *Compendium Musicae* (publicado postumamente), uma Álgebra, o *Studium Bonae Mentis* (sobre investigação metodológica) e as importantes *Regulae ad Directionem Ingenii* (Regras para a Direção do Espírito), escritas em 1628, com informações e esclarecimentos sobre seu método para se atingir o conhecimento verdadeiro. Assim, desde essa época, já estaria Descartes elaborando seu plano de duvidar e desprezar de tudo que lhe fora ensinado, visando a reconstruir todo o edifício científico, de conformidade com as suas regras para a direção do espírito[50].

Necessitando repouso e tranquilidade e um ambiente de liberdade para poder desenvolver seu pensamento e construir seu sistema filosófico, Descartes, em 1629, se instalou na Holanda, na cidade de Amsterdã, onde permaneceria por vinte anos (1649). Seus primeiros cinco anos na Holanda foram dedicados à elaboração de um pequeno tratado de metafísica e à composição de um *Tratado do Mundo e da Luz*, no qual exporia sua Física dentro da concepção mecanicista da época. Ao tomar conhecimento da condenação de Galileu, motivada por uma tese que ele também defendia, Descartes, por prudência, cancelou a publicação de sua obra. Um resumo desse trabalho constaria, no entanto, do *Discurso sobre o Método* (5ª Parte).

Em 1637, seriam editados três pequenos tratados científicos: *Dióptrica*, na qual consta a formulação da lei da refração, *Meteoros*, em que examina diversos fenômenos meteorológicos, inclusive o arco-íris, e *Geometria*, com a criação da Geometria analítica, precedidos do *Discurso sobre o Método* "para bem conduzir a própria Razão e procurar a verdade nas Ciências"; a obra, escrita em francês, o que era uma inovação na época, seria uma marca de afirmação do espírito moderno contra a latinização unificadora da cultura na Idade Média. No *Discurso*, uma das mais importantes obras na história da Filosofia

[48] COLEÇÃO Os Pensadores – *Descartes.*
[49] COLEÇÃO Os Pensadores – *Descartes.*
[50] BARBOSA, Luiz Hildebrando Horta. *História da Ciência.*

e um dos marcos do Pensamento moderno, Descartes explicaria o método utilizado nesses três tratados.

Em 1641, escreveria Descartes *Meditações sobre a Filosofia Primeira*, acerca da existência de Deus e as ideias claras e distintas, que, por causa das críticas e objeções de teólogos e filósofos, como Hobbes, Arnauld, Mersenne e Gassendi, seria imediatamente seguida por *Objeções e Respostas*, o que permitiria ao autor rever e aprofundar algumas de suas teses. Sua obra seria proibida nas Universidades de Utrecht e Leiden, em 1642, e, logo em seguida, em todos os Países Baixos (1656), e entraria no *Index* da Igreja católica em 1663.

Em 1644, seria publicado, em latim, *Principia Philosophiae*, que contém, nos últimos três livros, uma exposição de Física, e que deveriam completar e sintetizar a exposição de seu sistema. Manteve, na época, correspondência com pensadores europeus eminentes, como Gassendi, Hobbes, Mersenne, Arnauld, Huygens, Fermat e Henry More, dentre outros. Incentivado pela princesa Elizabeth, da Boêmia, com quem mantinha assídua correspondência, e a quem dedicara os *Princípios Filosóficos*, Descartes publicaria, em 1649, o livro *As Paixões da Alma*, que contém grande parte da Moral e sua concepção dualista para explicar o relacionamento entre o corpo e a alma.

Famoso, prestigiado, polêmico, Descartes, convidado pela Rainha Cristina, da Suécia, que gostava de se cercar de artistas e intelectuais, seguiu, no final de 1649, para Estocolmo, onde, vitimado de pneumonia, viria a falecer, em 11 de fevereiro de 1650.

A recuperação das Filosofias platônica e cética, a partir do século XV, trouxe incerteza, dúvidas e ceticismo quanto às doutrinas e conhecimentos até então tidos como inquestionáveis. A Física e a Cosmologia de Aristóteles, a Astronomia de Ptolomeu, a Anatomia e a Fisiologia de Galeno e a autoridade da Bíblia nesses assuntos encontravam sérias objeções e críticas, porquanto pareciam contradizer a realidade dos novos tempos[51]. Descobrimentos, descobertas e inovações técnicas indicavam, pelo menos ao Mundo intelectual, uma realidade não contemplada nos ensinamentos antigos. Um novo caminho para uma compreensão realista e exata do Mundo se impunha; haveria que repensar todo o conhecimento humano. Descartes se propôs a essa missão; sua tarefa seria a de refutar o ceticismo e a de restaurar a credibilidade da Ciência.

A construção de sua Filosofia se encontra explicada e justificada no célebre *Discurso sobre o Método* (1637), nas *Meditações* (1641) e nas *Objeções e*

[51] ROUSSEAU, Pierre. *Histoire de la Science.*

Respostas (1641)[52]. Para Descartes, a Filosofia é o estudo da Sabedoria, isto é, "o perfeito conhecimento de todas as coisas que o Homem pode saber, tanto para a conduta de sua vida, quanto para conservação de sua saúde e a invenção de todas as artes"; mas para tanto, "é necessário (o perfeito conhecimento) que seja deduzido das causas primeiras". Uma doutrina só seria verdadeiramente útil, caso estivesse inabalável e seguramente bem alicerçada, e não apenas recebida de um preceptor; em outras palavras, libertar o bom senso daqueles que pretendem tornar-se senhores de seus preconceitos por um procedimento rigoroso e regrado. Para tanto, Descartes cita[53] a ordem dos estudos que deve seguir o Homem ainda não deformado pelos preconceitos da Escola: formar, em primeiro lugar, uma Moral, isto é, elaborar para si uma regra de vida, talvez provisória, exercitar-se em pensar justamente, não aprendendo as regras da Lógica, mas praticando raciocínios sobre questões fáceis e simples, como as das Matemáticas, a fim de aprender "a bem conduzir sua Razão para descobrir as verdades que se ignoram" e se dedicar, enfim, à verdadeira Filosofia, cuja primeira parte é a Metafísica, ou seja, a pesquisa dos primeiros princípios do conhecimento. Todo o resto deve daí decorrer: Física e Ciências da Vida, posto que, uma vez estabelecidos os princípios, bastaria continuar a raciocinar por ordem.

O primeiro passo necessário seria começar duvidando de tudo, pois somente ignorando o conhecimento do passado, que confundia o conhecimento humano, seria possível isolar as verdades que ele mesmo pudesse aceitar como indubitáveis. Mas não só esses. Os conhecimentos provenientes dos sentidos devem ser os mais facilmente postos em dúvida, pois eles podem ser ilusórios. As próprias verdades matemáticas devem ser aceitas como passíveis de ilusão, pois poderíamos ser enganados por um gênio do mal. É a chamada dúvida cartesiana. Se estou persuadido de que não há nada, nem céu, nem terra, nem espíritos, nem corpos, não estou, no entanto, persuadido de que não existo. Eu sou, duvido, penso, existo. Até mesmo para duvidar é preciso que eu pense; logo, o pensamento é ele mesmo imune à dúvida. A proposição "Penso, logo existo" é "necessariamente verdadeira todas as vezes que eu a enuncie ou a conceba em meu espírito" (*Discurso* – 4ª Parte). "Minha existência como coisa que pensa está, assim, garantida, porém nada ainda me certifica a existência de meu corpo. Este 'cogito' me dá a garantia subjetiva de toda a ideia clara e distinta. A existência do pensamento não está, assim, sujeita à dúvida: é mais básica, mais originária do que esta, é um pressuposto

52 COLEÇÃO Os Pensadores – *Descartes.*
53 COLEÇÃO Os Pensadores – *Descartes (Introdução de Granger).*

dela"[54]. Desta forma, para Descartes, o primeiro princípio é o da existência do pensamento humano.

A mente é composta de ideias, que serão válidas ou adequadas na medida em que forem evidentes, isto é, claras e distintas (3ª Meditação). É o critério da evidência. As ideias, para Descartes, podem ser de três tipos: as ideias inatas, que não são derivadas da experiência, mas estão no indivíduo desde seu nascimento, como as ideias de infinito e de perfeição; as "ideias adventícias" (ou empíricas), formadas a partir de nossa experiência, e que dependem de nossa percepção sensível, estando, portanto, sujeitas às dúvidas; e as "ideias da imaginação", formadas em nossa mente a partir dos elementos de nossa experiência, como, por exemplo, a ideia de unicórnio. Segundo, ainda, Descartes, "as coisas que concebemos de maneira muito clara e distinta são todas elas verdadeiras" (4ª Meditação). A ideia é verdadeira em razão de sua adequação.

Desse primeiro princípio (existência do pensamento humano) decorre o segundo, o da existência de Deus, obtido a partir da análise de que o Homem, ser imperfeito, consegue ter a ideia da Perfeição. O argumento cartesiano parte do reconhecimento da ideia de Deus como um ser perfeito na mente do Homem, mostrando que esta ideia só pode ter como causa o Ser Perfeito, já que, não sendo perfeito, o Homem seria incapaz de chegar, por si mesmo, à ideia da Perfeição. Trata-se, assim, de uma ideia inata, implantada no Homem por Deus. O argumento é considerado cosmológico, por recorrer à noção de causa, de Deus como causa da ideia de Perfeição, o que levará, finalmente, Descartes, à argumentação de que Deus é o criador do Mundo externo (5ª e 6ª Meditações). Deus, um ser perfeito, não poderia iludir o Homem e a Razão que lhe dá verdades evidentes. Nessas condições, como criador do Mundo externo, Deus garantiria ao Homem conhecer o Mundo. Desta maneira, Descartes propunha que a existência de Deus era estabelecida pela Razão humana, e não o contrário. Para evidenciar como imaginava a Filosofia que daria ao Homem o conhecimento de todas as coisas necessárias à vida, Descartes usaria a imagem de uma árvore, identificando a Metafísica com as raízes, a Física com o tronco, e a Mecânica, a Medicina e a Moral com os galhos, do que resultariam certezas para o Homem de como deveria se conduzir na vida, como conservar a saúde e como proceder para desenvolver novas técnicas.

Excelente matemático, Descartes considerava a rigorosa metodologia da Aritmética e da Geometria como a única válida para lhe dar a certeza que buscava. A Matemática começa pela afirmação de princípios simples e evidentes, axiomas essenciais dos quais se poderiam

[54] MARCONDES, Danilo. *Iniciação à História da Filosofia.*

deduzir outras verdades mais complexas, segundo o rigoroso método racional[55]. Sendo o Mundo físico, no entendimento de Descartes, objetivo, solidamente material e inerentemente mensurável, o mais poderoso instrumento para a compreensão do Universo seria, assim, a Matemática. Para essa compreensão, devem-se ter presente apenas as qualidades objetivas que podem ser analisadas em termos quantitativos, como extensão, forma, número, duração, gravidade específica, posição relativa. Ao longo de sua obra, Descartes se referiu, com frequência, à excelência do método empregado na Geometria como o mais apropriado para se alcançar a certeza desejada.

Conforme explicou no *Discurso*, somente com a aplicação de um raciocínio preciso e minucioso a todas as questões da Filosofia e aceitando como Verdade apenas as ideias que se apresentavam claras, distintas e sem contradições, seria possível chegar à certeza absoluta. A racionalidade/ crítica disciplinada superaria a informação nada confiável sobre o Mundo, proporcionada pelos sentidos ou imaginação. Usando esse método, Descartes seria o novo Aristóteles, descobrindo uma nova Ciência que introduziria o Homem numa nova era de conhecimento pragmático, sabedoria e bem-estar[56].

Não tendo as metodologias até então utilizadas dado ao Homem conhecimento seguro e certo do Mundo, Descartes enunciou, na 2ª Parte do *Discurso*, os quatro famosos preceitos metodológicos:

> O primeiro era o de jamais acolher alguma coisa como verdadeira que eu não conhecesse evidentemente como tal; isto é, evitar cuidadosamente a precipitação e a prevenção, e de nada incluir em meus juízos que não se apresentasse tão clara e tão distintamente a meu espírito, que eu não tivesse nenhuma ocasião de pô-lo em dúvida; o segundo, o de dividir cada uma das dificuldades que eu examinasse em tantas parcelas quanto possíveis, e quantas necessárias fossem para melhor resolvê-las; o terceiro, o de conduzir por ordem meus pensamentos, começando pelos objetos mais simples e mais fáceis de conhecer, para subir, pouco a pouco, como por degraus, até o conhecimento dos mais compostos, e supondo mesmo uma ordem entre os que não se precedem naturalmente uns aos outros; e o último, o de fazer em toda a parte enumerações tão completas e revisões tão gerais que eu tivesse a certeza de nada omitir.

Essas longas cadeias de razões, continua Descartes,

[55] TARNAS, Richard. *A Epopeia do Pensamento Ocidental.*
[56] TARNAS, Richard. *A Epopeia do Pensamento Ocidental.*

> todas simples e fáceis, de que os geômetras costumam servir-se para chegar às suas mais difíceis demonstrações, haviam-me dado ocasião de imaginar que todas as coisas possíveis de cair sob o conhecimento dos homens seguem-se umas às outras da mesma maneira, e que guardemos sempre a ordem necessária para deduzi-las umas das outras.

Dessa forma, o método proposto, baseado no modelo matemático, daria à Razão os meios para chegar a certezas claras e distintas, evitando os erros. O método cartesiano seria assim um mecanismo que asseguraria o emprego adequado da Razão nas duas operações intelectuais fundamentais: a intuição e a dedução[57]. A intuição consistiria numa apreensão de evidências indubitáveis que não são extraídas da observação de dados por meio dos sentidos, mas são frutos do espírito humano, da Razão. A dedução consistiria no processo por meio do qual se chegaria à conclusão a partir de certas verdades-princípios. As verdades (conclusões) seriam derivadas das verdades-princípios.

A Filosofia e a Metodologia científica de Descartes teriam um tremendo impacto na evolução do pensamento ocidental. Seu racionalismo matemático-dedutivo se inclui como um dos pontos de partida da modernidade e formador do espírito científico. Seu propósito de estabelecer bases metodológicas seguras para um conhecimento verdadeiro seria a extraordinária contribuição do cartesianismo ao desenvolvimento da Ciência.

6.3.2.4 Isaac Newton (1642-1727)

A contribuição de Newton à Ciência é inestimável, a ponto de ser reconhecido, pela grande maioria dos estudiosos, como o mais importante e o mais influente cientista na História. Newton não foi um filósofo; não formulou uma teoria do Ser, nem uma Ética, nem uma completa teoria do conhecimento, mas influenciaria, com suas conquistas na área científica, as reflexões filosóficas do século XVII[58]. Newton, ao contrário de Bacon, Galileu e Descartes, não formulou, tampouco, nenhuma metodologia científica própria, mas foi capaz de criar uma síntese metodológica, incorporando o empirismo indutivo de Bacon, o racionalismo matemático dedutivo de Descartes e o método científico matemático experimental de Galileu. A contribuição de Newton ao progresso científico se deu

[57] RUBANO, Denize; MOROZ, Melania. *Para compreender a Ciência.*
[58] COLEÇÃO Os Pensadores – *Newton.*

desde a Matemática até a Física, com a criação do Cálculo infinitesimal, o desenvolvimento e sistematização da Mecânica, a teoria da gravitação universal, o desenvolvimento das leis da reflexão e refração luminosas, e a teoria corpuscular da luz.

Newton nasceu em Woolsthorpe, em Lincolnshire, Inglaterra, no dia 25 de dezembro de 1642 (Calendário juliano). Nascido órfão de pai, Newton foi deixado, aos três anos de idade, aos cuidados da avó, quando sua mãe se casou e resolveu viver separada do filho. Newton não se dava bem com o padrasto, Barnabas Smith, pregador, o que, para muitos, explicaria seu temperamento mercurial. Em 1661, matriculou-se no Trinity College, em Cambridge, onde trabalharia até o resto de sua vida. Desde essa época, interessou-se pelos trabalhos de Bacon, Galileu, Kepler, Descartes e outros expoentes da Ciência antiga e contemporânea, manifestando, já, grande interesse pela Matemática e pelos fenômenos celestes. Teria escrito, então, em seu livro de notas, que "Platão e Aristóteles são meus amigos, mas meu melhor amigo é a verdade". Em 1664, foi selecionado para ser bolsista do Trinity, mas a Universidade fechou as portas temporariamente por causa da Grande Peste de 1665, e Newton foi morar, por dois anos, com sua mãe, agora viúva, em Woolsthorpe. Nesse período, bastante profícuo, desenvolveu Newton o teorema do binômio conhecido pelo seu nome, o método matemático das fluxões; concebeu, ainda que parcialmente, a lei da gravitação universal, e investigou a natureza da luz. Tais descobertas, contudo, continuariam por muito tempo, inéditas, em vista das constantes e minuciosas revisões dos dados a que procedeu o jovem Newton. É dessa época a famosa história da queda da maçã. Em 1667, retornou ao Trinity College, foi eleito membro da Universidade de Cambridge, e em 1669 ocupou a cadeira de Professor Lucasiano de Matemática, ocupada, até então, por seu mentor, o matemático Isaac Barrow. Pouco depois, construiu um telescópio refletor, o que determinaria sua eleição, em 1672, para a Sociedade Real. Publicou, em 1675, o ensaio *Uma nova teoria sobre a luz e as cores*, pela Sociedade Real; criticada a obra por Robert Hooke, diretor de experimentos da Sociedade, Newton, desgostoso, recolheu-se para continuar seus estudos em isolamento. Em 1677, foi inaugurado o Observatório de Greenwich, o que incentivaria o estudo da Astronomia e a observação da abóbada celeste na Inglaterra.

Em 1684, Newton recebeu, em sua casa, a visita[59] do astrônomo Halley, a propósito dos planetas, das órbitas e da força de atração exercida pela Terra sobre a Lua. O tema, aparentemente sem uma resposta conclusiva, era pesquisado por Hooke, Boyle, Borelli, Wren, Halley e outros cientistas renomados da época. A resposta de Newton

[59] RONAN, Colin. *História Ilustrada da Ciência.*

a Halley teria sido imediata: a força existente entre o Sol e os planetas, e que produzia uma órbita elíptica, atuava de acordo com a lei do inverso do quadrado e que ele mesmo tinha provado isso. Newton enviou um pequeno ensaio sobre o assunto a Halley, que o instou a escrever um tratado sobre a questão do movimento, assegurando-lhe que a Sociedade Real se encarregaria da publicação do livro. Enquanto Newton escrevia o livro, Robert Hooke alegou que o crédito pela descoberta da lei de atração do inverso do quadrado lhe cabia, pois fora ele que havia fornecido a Newton os dados básicos. Em 1685, foram apresentados à Sociedade Real os dois primeiros livros dos *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*, sendo a primeira edição completa da obra datada de 1687. O sucesso e a repercussão do livro *Princípios Matemáticos da Filosofia Natural* foram enormes, e, até hoje, é considerada uma das maiores obras científicas de todos os tempos. Com as três leis do movimento e a lei da gravidade, Newton revolucionaria a Física e a Mecânica Celeste, sintetizando num todo único a Mecânica terrestre de Galileu e a Astronomia de Kepler, e criando uma nova perspectiva ao desenvolvimento dessas Ciências.

O *Princípios*, escrito em latim, se divide em três livros, embora publicado em um só volume. O primeiro livro trata da Mecânica, e explica a razão por que os corpos se movem de determinada maneira no espaço vazio; no segundo livro, é estudado o movimento dos corpos em meios que oferecem resistência, como o ar e a água; e no terceiro livro, aplicando os princípios estabelecidos nos dois livros anteriores, Newton demonstrou a estrutura e o funcionamento de todo o Sistema Solar. A obra foi estruturada segundo a ordem das ideias em Geometria, isto é, definições (massa, força e movimento), axiomas (leis do movimento), enumeração dos pressupostos (que chama de proposições), corolários e escólios (comentários ou notas explicativas).

A fama assim conquistada levou Newton, em 1689, ao Parlamento, como representante da Universidade de Cambridge, no qual, como membro, teria uma passagem curta e uma atuação apagada. Em 1690, o Parlamento foi dissolvido pela Revolução Gloriosa, mas, reeleito em 1701, sua atuação, novamente, não teve nenhum relevo. Em 1696, foi nomeado guardião da Casa da Moeda Real e eleito presidente da Sociedade Real, em 1703, cargo que manteve até sua morte, em 31 de março de 1727.

Em 1704, foi publicada sua última obra científica, *Óptica*, na qual desenvolveu sua teoria sobre a natureza corpuscular da luz. Nos anos seguintes, não houve nenhuma contribuição significativa de Newton ao desenvolvimento das Ciências, tendo perdido, aparentemente, interesse

pelos assuntos científicos[60]. Dedicou-se Newton, então, a assuntos teológicos (*Observações sobre as Profecias de Daniel e o Apocalipse de São João, Duas Notáveis Corrupções da Escritura, Cronologia dos Reinos Antigos*)[61] e à Alquimia.

No *Princípios Matemáticos da Filosofia Natural* e na *Óptica*, Newton esclareceu, em diversas passagens, sua metodologia científica utilizada em seus estudos e pesquisas. Uma síntese do método já constaria do Prefácio do livro *Princípios*:

> a dificuldade precípua da Filosofia parece consistir em que se investiguem, a partir dos fenômenos dos movimentos, as forças da Natureza, demonstrando-se a seguir, por meio dessas forças, os outros fenômenos... pelas proposições matematicamente demonstradas... derivam-se dos fenômenos celestes as forças da gravidade pelas quais os corpos tendem para o Sol e os vários planetas. Depois deduzo dessas forças, por proposições também matemáticas, o movimento dos planetas, dos cometas, da Lua e do mar...

Dois aspectos constituem, assim, o método newtoniano: o matemático, dedutivo; e o empírico, indutivo.

Quanto ao aspecto matemático, sua importância está assinalada em várias passagens, como as constantes da *Óptica*: "não é somente pelo ensino daquelas coisas que se chega à perfeição de visão, mas também pela determinação matemática de todos os tipos de fenômenos de cores que poderiam ser produzidas por refrações" e, pouco mais adiante,: "a ciência das cores torna-se uma especulação tão verdadeiramente matemática como qualquer outra parte da Óptica". Como escreveu Burtt, a determinação de Newton em reduzir outro grupo de fenômenos a fórmulas matemáticas ilustra o papel fundamental desta Ciência em seu trabalho[62]. Deve-se ter presente que para Newton a linguagem matemática se aplicaria somente a questões que envolvessem relações quantitativas. A Matemática era unicamente um método para solução de problemas e um instrumento útil na redução dos fenômenos físicos. No Prefácio do *Princípios*, Newton inicia dizendo que os antigos deram muita importância à Mecânica na investigação das coisas naturais e os modernos se empenharam por submeter os fenômenos da Natureza às leis da Matemática, mas que ele procuraria empregar a Matemática enquanto Filosofia. Sua admissão de que alguns problemas não poderiam ser de todo apropriadamente traduzidos para a linguagem matemática

---

[60] BRODY, David; BRODY, Arnold. *As Sete Maiores Descobertas Científicas da História.*
[61] COLEÇÃO Os Pensadores – *Newton.*
[62] BURTT, Edwin. *As Bases Metafísicas da Ciência Moderna.*

se constituiria "uma monstruosa heresia para Galileu ou Descartes", comentou o citado Burtt.

A Matemática não é, assim, absoluta na metodologia newtoniana, pois, como escreveu o já mencionado Burtt, "deve ela moldar-se continuamente à experiência; sempre que se permitia longas deduções de princípios, ele zelosamente insistia no caráter abstrato dos resultados até que se provassem fisicamente verificados". Para Newton, "o método correto para inquirir a respeito das propriedades das coisas é deduzi-las dos experimentos", como cita Burtt. Nenhuma dedução de um princípio aceito, não importa se geral ou claramente proveniente de fenômenos passados, pode passar por absoluta ou inteiramente certa, sem verificação experimental cuidadosa e contínua. Nas explicações dos fenômenos observados na Natureza, insistia Newton em que a experimentação e a verificação deviam acompanhar cada passo do processo explanatório.

Pelo exposto, pode-se concluir que seu critério fundamental seria o empírico, dada sua menor segurança no raciocínio dedutivo aplicado aos problemas físicos. O emprego da verificação experimental era recomendado em todas as circunstâncias.

Newton procurou, assim, em sua metodologia, aproveitar o que lhe parecia mais adequado e apropriado em outros modelos, unindo os métodos matemático e experimental, isto é, o indutivo, empírico e experimental, na linha de Bacon, Gilbert, Harvey e Boyle, e o dedutivo e matemático, na tradição de Copérnico, Galileu, Kepler e Descartes[63]. Em várias oportunidades, Newton reconheceu sua dívida para com os homens de Ciência que, de algum modo, contribuíram para o desenvolvimento científico. A esse respeito, é célebre sua frase, parafraseando Bernardo de Chartres, de que se viu mais longe foi porque pôde apoiar-se em ombros de gigantes.

Newton, na aplicação de seu método, é veementemente contrário ao uso de hipóteses, até que leis experimentais acuradas sejam estabelecidas por um estudo dos fatos disponíveis. Todas as hipóteses que não estiverem de acordo com as propriedades e leis estabelecidas devem ser rejeitadas: "Se forem oferecidas conjecturas sobre a verdade das coisas a partir da simples possibilidade das hipóteses, não vejo como qualquer coisa certa possa ser determinada em qualquer ciência"; mais adiante, "por conseguinte julguei que se deve abster de considerar hipóteses da mesma forma que se abstém de um argumento enganador": e logo depois,

> ...o método melhor e mais seguro de filosofar parece ser, primeiro, investigar as propriedades das coisas e estabelecê-las por meio de experiências, e então,

[63] HENRY, John. *A Revolução Científica.*

> posteriormente, buscar hipóteses para explicá-las, pois as hipóteses devem ser encaixadas simplesmente para explicar as propriedades das coisas, e não para tentar predeterminá-las, exceto quando puderem servir de auxílio às experiências.

No fim do *Princípios*, Newton seria taxativo:

> Qualquer coisa não deduzida de fenômenos deve ser chamada de hipótese; e hipóteses, sejam metafísicas ou físicas, referentes a qualidades ocultas ou mecânicas, não têm lugar na Filosofia experimental. Nesta Filosofia, proposições particulares são inferidas dos fenômenos, e tornadas gerais, em seguida, por indução.

Na Óptica reiterou que "as hipóteses não podem ser consideradas em Filosofia experimental".

Além da formulação dessa metodologia matemático-experimental, Newton estabeleceu, ainda, no Livro III do *Princípios*, o que se chama de Normas de Raciocínio em Filosofia, no total de quatro: 1ª, "não devemos admitir mais causas de coisas naturais que não as que forem tanto verdadeiras quanto suficientes para explicar suas aparências". É o princípio da simplicidade e da uniformidade da Natureza; 2ª, "devemos, tanto quanto possível, destinar as mesmas causas aos mesmos efeitos naturais". Em outras palavras, a efeitos similares devemos sempre atribuir causas idênticas, a fim de evitar atribuir uma causa diferente para cada fenômeno. É o princípio da identidade das causas; 3ª, "as qualidades dos corpos que não admitam nem intensificação, nem remissão de graus, e que são julgadas pertencentes a todos os corpos ao alcance de nossos experimentos, devem ser consideradas qualidades universais de todos e quaisquer corpos". Ou seja, proposições comuns aos corpos conhecidos devem ser aplicadas para todos; 4ª, "na Filosofia Natural devemos considerar proposições formadas por indução geral de fenômenos como acuradas, ou muito próximas delas, apesar de quaisquer hipóteses em contrário". Isto é, sobre um acontecimento, as considerações e as hipóteses baseadas em observações ou experimentações devem ser aceitas, em detrimento de quaisquer outras não baseadas em experiências. O empirismo é o supremo teste.

Em resumo, a metodologia de Newton consistiria em hipóteses deduzidas dos fenômenos, na observação como critério para a produção e aceitação do conhecimento; no caso de ser possível a quantificação dos fenômenos, admitia a utilização da análise e síntese, por meio da indução, para explicar os eventos naturais[64].

---

[64] GIANFALDONI, Mônica. *Para Compreender a Ciência.*

Alguns fenômenos, contudo não podiam ser explicados pelas leis propostas por Newton, como a lei da gravitação, que explicava por que os planetas continuavam em suas órbitas, mas não explicava a origem do Sistema Solar e de seus movimentos. Newton reconhece, no Livro III do *Princípios* que "apesar de tais corpos poderem, com efeito, continuar em suas órbitas pela simples lei da gravidade, todavia eles não podem de modo algum ter, em princípio, derivado dessa lei a posição regular das próprias órbitas".

Para explicar esse tipo de fenômeno, Newton, a exemplo de Descartes, recorreu à Metafísica, já que a Física, até então, não podia compreendê-lo; a noção de Deus e de sua interferência no Mundo físico se impunham a fim de completar o quadro cosmológico. Na *Óptica*, Newton explicaria que, além da criação, Deus pôs ordem e movimento no Universo:

> ...com a ajuda desses princípios, todas as coisas materiais parecem ter sido compostas de partículas duras e sólidas acima mencionadas, variadamente associadas na primeira criação pelo conselho de um agente inteligente. Pois convinha Àquele que as criou colocá-las em ordem. E se Ele assim fez, é não filosófico procurar por qualquer outra origem do Mundo, ou pretender que este deveria se originar a partir de um caos pelas leis da Natureza; apesar de que, uma vez sendo formado, ele pode continuar por essas leis durante muitas épocas. Pois enquanto os cometas se movem em órbitas muito excêntricas em todos os modos de posição, um destino cego não poderia nunca fazer todos os planetas se moverem de uma e mesma maneira em órbitas concêntricas...

Newton não explica, experimentalmente, a origem dos fenômenos que observa, analisa e matematiza; Deus é o criador de tudo e, sendo assim, a origem fica dada sem interferir nas leis propostas.

Koyré sintetizou desta forma o Universo de Newton: "...o Deus newtoniano reinava, supremo, no vazio infinito do espaço absoluto, no qual a força da atração universal interligava os corpos estruturados atomicamente do Universo incomensurável e os fazia moverem-se de acordo com rígidas leis matemáticas"[65].

6.3.3 Sociedades Científicas

O movimento de criação de universidades, como as de Paris, Oxford, Salamanca, Pádua, Cambridge, Florença, Palermo, Cracóvia, Sorbonne,

[65] GIANFALDONI, Mônica. *Para Compreender a Ciência.*

Viena, Heidelberg e tantas outras, do século XIII ao XVI, tinha a função precípua de ensinar e divulgar a doutrina oficial da época, o aristotelismo-ptolomaico, dogmatizado pelo tomismo. Tratava-se, no entanto, de um sistema educacional superior ao de períodos anteriores, pois fora concebido e estruturado de forma a transmitir aos estudantes o conhecimento recém-descoberto e herdado da Antiguidade clássica. Imunes a quaisquer novas ideias e contrários a pesquisas e investigações, limitavam-se os professores a repetir os ensinamentos dos mestres, das autoridades do passado, estando fora de propósito qualquer crítica ou rejeição ao que já fora anteriormente adotado[66]. Era o *magister dixit*. O ensino, acadêmico, insípido e repetitivo, não contribuía para o desenvolvimento científico, ao mesmo tempo em que era refutado pelo movimento humanista. Divorciadas das reais necessidades de classes e atividades emergentes (burguesia, negociantes, mercadores, artesãos) e de uma nova economia (monetarismo, mercantilismo, incipiente industrialização), as universidades tampouco satisfaziam o meio intelectual, cada vez mais interessado na busca de um conhecimento do Mundo e de seus fenômenos, de acordo com a realidade comprovada da época, do que na aceitação passiva de um desacreditado saber antigo. Mesmo os filósofos naturais, que foram professores, como Galileu, fizeram suas pesquisas fora da universidade, pois em aula seus ensinamentos deveriam seguir a doutrina oficial do geocentrismo ptolomaico, ou da Física de Aristóteles. Nos centros de Medicina, em vez de pesquisa para melhor conhecimento do corpo humano, os catedráticos se limitavam à leitura de textos de Celso, Galeno e outros médicos da Antiguidade, repetindo os ensinamentos, ainda que contrários à evidência; nesse campo, a superstição e os preconceitos impediam qualquer progresso na base de observação e verificação. Como mencionado por Rossi, a insatisfação com as universidades era de tal ordem que John Hall, em 1640, em uma moção dirigida ao Parlamento, escreveu que "nas Universidades não se ensinam nem a Química, nem a Anatomia, nem as línguas, nem os experimentos. Na verdade, é como se os jovens tivessem aprendido há três mil anos atrás toda a ciência redigida em hieróglifos e em seguida tivessem ficado dormindo como múmias para acordar somente agora"[67].

Esse estado de coisas frustrava um eventual interesse em pesquisa e não satisfazia aqueles desejosos de abandonar o currículo e a doutrina oficiais. O desenvolvimento do conhecimento científico se faria, em boa parte, fora das universidades, através de estudos e pesquisas individuais de dedicados filósofos naturais. Impossibilitados de pesquisar e de procurar novas explicações para os fenômenos físicos, grupos de intelectuais e

[66] HALL, A. Ruppert. A *Revolução na Ciência – 1500-1750.*
[67] ROSSI, Paolo. *O Nascimento da Ciência Moderna na Europa.*

"filósofos naturais" passariam a se reunir, de maneira informal, no século XVII, com vistas a debater temas científicos de interesse geral e a estabelecer contatos com outros intelectuais de outros países. Sendo o latim a língua cultural por excelência, as comunicações e as correspondências fluíam sem maiores dificuldades, bem como facilitava o acesso a livros e diversas publicações, que começaram a proliferar. Um dos primeiros a defender a ideia de criação de institutos de pesquisas ou centros de estudos científicos foi Francis Bacon (Casa de Salomão, na Nova Atlântida) para quem o enorme domínio do conhecimento natural era demasiado vasto para que um Homem se dedicasse sozinho a essa tarefa. Nessa concepção, seria criada a Sociedade Real de Londres, pois por mais esplêndido que seja o gênio do pioneiro individual, é preferível a força conjunta de muitos homens[68].

A Itália, que começara o Renascimento Artístico e o Renascimento Científico, seria, igualmente, a pioneira nessa iniciativa de constituição de grupos, academias ou Sociedades com o objetivo de pesquisar e desenvolver os diversos ramos da Ciência, além de divulgar o resultado de seus trabalhos. No curso do século XVII, Academias seriam criadas na França, na Inglaterra e na Alemanha, com características e regulamentos diferentes, mas com o mesmo objetivo; grupos informais de intelectuais, observatórios e laboratórios se estabeleceriam, contribuindo para o desenvolvimento da Ciência. Seria o início da formação de uma comunidade científica no nível nacional, com os necessários contatos e cooperação com intelectuais e Academias congêneres no estrangeiro. As Academias aceitavam membros estrangeiros em seus quadros.

A preocupação que norteou a fundação desses centros foi a de não se envolver em política e de não aceitar a intromissão das Teologias e das Igrejas. Tais Sociedades deveriam ser laicas e independentes de injunções políticas, com dedicação exclusiva ao estudo, pesquisa, desenvolvimento da Ciência e à sua difusão. Esses ideais nortearam a formação das Academias, como no caso da Sociedade Real, nas palavras de seu historiador Sprat:

> ...no que concerne aos membros que devem constituir a Sociedade, é preciso notar que são livremente admitidos homens de religiões, países e profissões diferentes... eles declaram abertamente não preparar a fundação de uma Filosofia inglesa, escocesa, papista ou protestante, mas a fundação de uma Filosofia do gênero humano... eles tentaram colocar sua obra em total condição de desenvolvimento perpétuo, estabelecendo uma correspondência inviolável entre a mão e a mente.

68 HALL, A. Ruppert. *A Revolução na Ciência – 1500-1750.*

E mais adiante: "procuraram efetuar tal reforma da Filosofia não mediante solenidades e ostentação de cerimônias, mas mediante uma prática sólida e por meio de exemplos e não com a pompa gloriosa de palavras, mas por meio de argumentos silenciosos, efetivos e irrefutáveis das produções reais"[69].

O matemático John Wallis escreveria (citado por Rossi) que tivera a oportunidade de conhecer várias pessoas que, como ele, tinham excluído a Teologia de seus discursos, pois "o nosso interesse se voltava para matérias como Física, Anatomia, Geometria, Estática, Magnetismo, Química, Mecânica e experiências naturais".

Em 1560, o físico Giambattista Della Porta fundou, em Nápoles, a Academia dos Mistérios da Natureza, de duração efêmera, pois teve de encerrar suas atividades, dada a perseguição do Santo Ofício. A primeira Academia, cronologicamente, foi a *Accademia dei Lincei* (seus integrantes se chamavam linces por causa da própria perspicácia), fundada com o patrocínio do Príncipe Frederico Cesi, em Roma, em 1603. Seu mais ilustre membro foi Galileu[70].

Uma segunda Academia seria fundada em Florença, em 1657, sob patrocínio do Grão-Duque da Toscana, Ferdinando II, e iniciativa de seu irmão, o Príncipe Leopoldo de Médici. A *Accademia Del Cimento* (Academia da Experimentação), da qual foram membros ativos Viviani, Borelli, Redi, Stenon e outros, conseguiu reunir a melhor coleção de equipamentos (nove) científicos da época; sua existência duraria apenas dez anos (1667), porém os laboratórios particulares foram mantidos[71].

A Academia publicou em 1667 os *saggi*, ensaios que recapitulavam e demonstravam experimentalmente o trabalho científico de Galileu, bem como uma série de experiências sobre pressão atmosférica, movimentos de projéteis, propriedades cronométricas do pêndulo, radiação do gelo, incompressibilidade da água e outras. Como escreveu o citado Ruppert Hall, "pode dizer-se que as origens do laboratório residem na Accademia del Cimento".

Na década de 1660, formou-se uma Academia Filosófica, em Bolonha, que seria formalizada em 1714. Muito ativa em Astronomia e microscopia, seus mais conhecidos integrantes foram Domenico Cassini (1625-1712), Eustachio Manfredo (1674-1739) e Geminiano Montanari (1633-1687). Por essa época, formou-se, igualmente, em Nápoles, grupo de filósofos naturais interessados no desenvolvimento da pesquisa científica, como a *Accademia dei Investiganti* (1663-1700).

---

[69] ROSSI, Paolo. *O Nascimento da Ciência Moderna na Europa.*

[70] ROUSSEAU, Pierre. *Histoire de la Science.*

[71] HALL, A. Ruppert. *A Revolução na Ciência – 1500-1750.*

Apesar desse pioneirismo na Itália, a Ciência experimental teria na França e na Inglaterra seus principais centros de estudo e de pesquisa, com a criação de Academias e Sociedades, devotadas ao avanço da ciência experimental, na divulgação de seus trabalhos e na mútua cooperação entre cientistas e instituições. Flandres, Países Baixos e Reinos alemães também se notabilizariam no campo científico, porém, somente no final do século, seria criada na Prússia uma Academia.

Na Inglaterra do início do século XVII, o foco principal do interesse científico era o Gresham College, fundado por Sir Thomas Gresham em 1597, com o objetivo de promover conferências, em inglês, sobre os temas tradicionais, como Matemática, Medicina, Astronomia, Direito e Música. Destacaram-se nessa Instituição o geômetra Henry Briggs, o matemático Isaac Barrow, Robert Hooke e o arquiteto e astrônomo Christopher Wren.

Funcionava, também, em Londres, o Colégio dos Médicos (fundado em 1518 por Thomas Linacre), com carta régia concedida por Henrique VIII, bastante deficiente, não dispondo de biblioteca e em constante luta contra os charlatães, parteiras, boticários e intromissões políticas. Seu principal objetivo era limitar a admissão na profissão aos que se encontravam devidamente qualificados por meio da aprendizagem e penalizar os praticantes não qualificados. O ensino, a prática e a pesquisa no campo da Medicina na Inglaterra estavam em nível inferior ao de outros países do continente[72]. Apesar das exortações de Harvey aos seus colegas para se dedicarem à pesquisa e às experiências, transformando o Colégio dos Médicos em centro científico, pouco foi realizado, no século XVII, nesse sentido. Em 1651, William Harvey fez importante doação ao Colégio e o Marquês de Dorchester enriqueceu a biblioteca com expressiva contribuição.

Por volta de 1645, um pequeno grupo de oito cientistas (conhecido como Colégio Filosófico), se reunia semanalmente no Gresham College para discutir teorias científicas e realizar experimentos. Seus integrantes iniciais foram: o clérigo matemático e astrônomo John Wilkins (1614-1672), o clérigo matemático John Wallis (1616-1703), o astrônomo e médico Samuel Foster (? –1652), o médico e astrônomo Jonathan Goddard (1617-1675) e mais quatro médicos; em 1648, juntaram-se a esse grupo Robert Boyle (1627-1691) e o médico William Petty (1623-1687)[73].

A implantação do regime puritano de Cromwell implicaria numa renovação dos quadros da Universidade de Oxford, com a expulsão dos monarquistas e o aproveitamento de integrantes do grupo londrino do Colégio Filosófico: Wilkins foi nomeado diretor do Wadham College, Wallis

---

72 HALL, A. Ruppert. *A Revolução na Ciência – 1500-1750.*

73 MASON, Stephen. *Historia de la Ciencia.*

professor de Geometria, Petty professor de Anatomia, e Goddard diretor do Merton College. Devido à influência desse seleto grupo, seria fundada em Oxford uma Sociedade Filosófica, que permaneceu ativa até 1690. Desse grupo de Oxford participaram, entre outros, o arquiteto e astrônomo Christopher Wren, o médico Thomas Sydeham, o químico John Mayow, Lawrence Rooke e Thomas Sprat (historiador da Sociedade Real). Com o retorno dos Stuarts em 1660, Londres voltaria a ser o centro principal das atividades científicas na Inglaterra, com reuniões no Gresham College. O grupo, em 28 de novembro desse ano, decidiu postular a criação de uma instituição dedicada à Ciência e à experimentação, para tanto, escolheu John Wilkins como presidente, que preparou uma lista de 41 nomes de intelectuais que poderiam ser convidados para participar da iniciativa. Ao mesmo tempo, foram estabelecidos contatos na corte a fim de obter a aprovação real à futura instituição.

Graças ao apoio de alguns nobres, ainda em 1660 o rei Carlos II autorizou a constituição da Sociedade Real. Lord Brouncker foi eleito presidente, sendo os primeiros secretários Wilkins e Henry Oldenburg. Em 1662, Carlos II sancionou a fundação da Sociedade Real, com a outorga da carta régia (15 de julho), para o fomento do conhecimento natural, congregando médicos, matemáticos, astrônomos, físicos, químicos, botânicos. Em 1664, foram criadas oito comissões especializadas, como a de questões mecânicas (69 membros), a de história dos ofícios (35 membros), a de Agricultura (32 membros), a de Astronomia (15 membros). No início, o total de acadêmicos foi de cerca de 100 para atingir duas centenas no final do século.

A influência baconiana[74] no estatuto da nova Instituição está evidente nas explicações do Diretor de Experimentos, Robert Hooke, em 1663:

> ...o propósito da Sociedade Real é fomentar o conhecimento das coisas naturais e todas as artes, manufaturas, práticas mecânicas, máquinas e invenções úteis por meio dos experimentos, sem imiscuir-se em questões teológicas, metafísicas, morais, políticas, gramaticais, retóricas ou lógicas; tratar de recuperar as artes e invenções lícitas que se perderam; examinar todos os sistemas, teorias, princípios. Hipóteses, elementos, histórias e experimentos de assuntos naturais, matemáticos e mecânicos inventados, registrados ou praticados por qualquer autor de consideração, antigo ou moderno. Tudo isto a fim de compilar um sistema completo de sólida Filosofia para dar conta de todos os fenômenos produzidos pela Natureza ou Arte, achando uma explicação racional das causas das coisas.

As reuniões eram inconclusivas, sem dar início a uma linha de investigação. Seu diretor de Experiências, Robert Hooke, era competente,

[74] MASON, Stephen. *Historia de las Ciencias.*

persistente, dedicado e brilhante em ideias, mas sem capacidade de concentração de esforços[75]. A Sociedade tornou-se, nesses primeiros anos, mais um local de informe que um instituto de pesquisa, sem um programa que orientasse e propiciasse efetivo desenvolvimento da Ciência. Apenas com Hooke e Oldenburg, parcialmente assalariados, e sem locais e meios para conduzir uma investigação ativa, um programa próprio e continuado de pesquisa era praticamente impossível, a não ser pelo esforço e pela dedicação de um interessado. A Sociedade era uma entidade privada, que não dispunha de recursos oficiais. Os pesquisadores utilizavam seus materiais, como, por exemplo, o astrônomo real Flamsteed, que teve de usar seus próprios recursos e equipamentos seus e de amigos para efetuar seus trabalhos. Na Inglaterra da época, todos os telescópios e relógios eram particulares. A Sociedade Real não teve qualquer participação na orientação do Observatório de Greenwich ou na utilização dos instrumentos aí existentes[76].

Ainda no século XVII, a Sociedade publicaria livros científicos como *Princípios Matemáticos da Filosofia Natural*, de Newton (acadêmico desde 1671 e Presidente de 1703 a 1727), os estudos embriológicos de Malpighi, obras dos botânicos John Ray e Willoughby. A partir de março de 1665, o secretário da Sociedade Real, Henry Oldenburg, começou a publicar, mensalmente, as *Atas Filosóficas*, que, ainda não oficiais da Instituição, incluíam registro das suas atividades[77]. Em pouco tempo, o prestígio da publicação alcançou o continente e foi traduzido para o latim, ainda a língua culta da época. Data, assim, dessa época, o início do periódico científico e do documento científico como meio de comunicação. É célebre, nesse sentido, a Ata n° 80, de 19 de fevereiro de 1672, com a carta de Newton acerca de suas investigações sobre a luz e a cor.

Na França, a evolução das instituições científicas seguiu o mesmo caminho que na Inglaterra, ou seja, de grupos informais e efêmeros surgiria, com o patrocínio do Estado, a Academia de Ciência em Paris. A grande diferença no caso foi o caráter estatal da Instituição francesa, com seus acadêmicos recebendo salários e trabalhando em projetos de interesse do Estado francês, enquanto na Inglaterra a Sociedade Real se manteve independente e privada, apesar do apoio recebido da Coroa.

O primeiro grupo científico francês foi criado em Aix em 1620 na casa do padre Claude Peiresc (1580-1637), do qual participou o frade franciscano Gassendi. Entre 1615 e 1662, os irmãos Dupuy formaram em sua residência um círculo de intelectuais para debate de temas científicos.

---

75 HALL, A. Ruppert. *A Revolução na Ciência – 1500-1750.*

76 HALL, A. Ruppert. *A Revolução na Ciência – 1500-1750.*

77 HALL, A. Ruppert. *A Revolução na Ciência – 1500-1750.*

Outro círculo importante de intelectuais, com interesse em Matemática e em assuntos científicos, se reunia, frequente e informalmente, na casa do frade franciscano Marin Mersenne (1588-1648), para discutir e estudar temas científicos. Por intermédio desse grupo foram conhecidos na França os trabalhos de Galileu, o sistema cartesiano e dada publicidade ao problema de Pascal sobre o cicloide. Mersenne, defensor irrestrito da Ciência Experimental e adepto do baconismo, manteria extensa correspondência com intelectuais, informando-os dos avanços das pesquisas dos outros matemáticos e filósofos naturais, facilitando as consultas e a comparação dos trabalhos entre os especialistas e servindo, assim, como verdadeira ponte entre cientistas de países da Europa[78].

Com a morte de Mersenne, as reuniões do grupo se transferiram para a casa do filósofo e frade franciscano Pierre Gassendi (1592-1655), outro defensor do método experimental, interessado em Astronomia, divulgador das ideias de Epicuro (atomismo) e oposto a Descartes. Com a morte de Gassendi, o grupo reduziu suas atividades, apesar dos esforços de Samuel Sorbiere, do astrônomo Adrien Auzout (1630-1691) e Thévenot (1620-1692). Em 1657, por iniciativa de Habert Montmor (1634-1679), foi fundada a Academia Montmor[79], com o objetivo de prosseguir nos esforços de Mersenne e Gassendi. Pouco depois, dificuldades financeiras, falta de patrocínio, rivalidades e choques de personalidade levariam a Academia a encerrar suas atividades. Em Paris, entre 1633 e 1642, todas as segundas-feiras, no Bureau d'Adresse, se realizaram, organizadas pelo médico Renaudot, um total de 345 reuniões de debates sobre temas variados, inclusive científicos[80].

Em 1663, o poderoso ministro Jean Baptiste Colbert recebeu uma solicitação de apoio à formação de uma Academia científica sob o argumento que o progresso científico beneficiaria economicamente a França e daria mais brilho ao reinado de Luiz XIV. A proposta interessou a Colbert, mercantilista, que acreditava na Ciência para a expansão da indústria e do comércio do país.

A Academia de Ciência de Paris seria criada sob o patrocínio da Coroa francesa, tendo realizado sua primeira reunião em 22 de dezembro de 1666. De acordo com seus estatutos, os 15 acadêmicos iniciais (selecionados por Colbert), estavam divididos em duas classes: os matemáticos (incluindo astrônomos e físicos) e os filósofos naturais (incluindo médicos, anatomistas e químicos). As reuniões se realizavam em dois salões da Biblioteca Real,

[78] TATON, René. *La Science Moderne.*
[79] ROUSSEAU, Pierre. *Histoire de la Science.*
[80] ROSSI, Paolo. *O Nascimento da Ciência Moderna na Europa.*

às quartas-feiras e aos sábados. Os acadêmicos recebiam salários, o que os tornava cientistas profissionais que trabalhavam em tarefas propostas pelo Governo; somente em 20 de janeiro de 1699, seria aprovado por Luiz XIV o regulamento da Academia, que passou a se reunir no Louvre. O número de acadêmicos se elevou então a 100.

A Academia de Ciências de Paris teve, nos seus primeiros anos, as mesmas deficiências e dificuldades que sua congênere inglesa. Apesar dos bons propósitos, as reuniões eram discursivas e improdutivas; os assuntos de interesse do Estado, como a determinação da longitude no mar, a preparação de uma cartografia da França, a hidráulica e a mecânica prática, eram colocados de lado pelos tópicos que despertavam mais interesse dos acadêmicos, como a máquina pneumática, a teoria da luz e o telescópio por reflexão. A Academia atuou nas expedições científicas (1670/72) de Picard e Richer e colaborou nos trabalhos do Observatório (Cassini)[81]. Na reforma de 1699 da Academia, foi reconhecida a limitação do trabalho conjunto e passou cada acadêmico a escolher um campo particular de estudo para relatório. O papel do pesquisador individual foi reconhecido. O ideal baconiano de que o levantamento de dados deveria anteceder a formulação teórica foi proclamado por Fontenelle: "A Física sistemática deve coibir-se de construir seu edifício até que a Física experimental seja capaz de equipá-la com os materiais necessários".

Em janeiro de 1665, apareceu na França o *Journal des Savants*, com o apoio de Colbert, mas de iniciativa de Denis de Sallo (1626-1669), conselheiro do Parlamento de Paris. A publicação versava sobre variados temas, inclusive científicos, mas seria imediatamente suprimida em março de 1665, para reaparecer no início de 1666 sob a orientação do abade Jean Gallois. O *Journal* oferecia informações sobre as atividades da Academia, tendo sido muito útil na divulgação dos trabalhos acadêmicos[82].

Assim como na Itália, Inglaterra e França, as primeiras Sociedades Científicas alemãs foram efêmeras, criadas pelo esforço de abnegados homens da Ciência, mas sem os recursos e as condições necessárias para a realização de um trabalho criativo e efetivo. A divisão territorial da Alemanha em um grande número de reinos, as condições sociais e econômicas prevalecentes na época e a Guerra dos Trinta Anos reduziram a eficiência das suas muitas escolas e universidades. Em 1622, o botânico Joachim Jung (1587-1657) fundou a *Societas Ereunetica*, em Rostock (Meklemburgo), e, em 1672, o professor de Matemática em Altdorf (Baviera) Christopher Sturm estabeleceu o *Collegium Curiosum sive*

[81] ROUSSEAU, Pierre. *Histoire de la Science.*
[82] TATON, René. *La Science Moderne.*

Experimentale, ambas muito mais Sociedades de debates que verdadeiras instituições de pesquisa[83]. Uma Sociedade de médicos com a denominação de *Academia Naturae Curiosorum* (*Academia dos Investigadores da Natureza*) foi estabelecida em 1652, mas se desenvolveria a partir de 1661 pelos esforços do médico Philip Jacob Sachs von Lewenheimb (1627-1672); sua principal atividade era a publicação anual do *Miscellanea Curiosa*, com um relato muito geral de experiências na prática médica.

O crédito pela fundação da primeira Academia alemã cabe ao filósofo e matemático Gottfried Wilhelm Leibniz, que estivera durante anos a serviço do Reino de Hanover. Após muitas tentativas de convencer os governantes alemães para patrocinarem a Ciência, obteve Leibniz o apoio do Eleitor (depois rei) de Brandenburgo, Frederico I, para a criação de uma instituição científica nos moldes da Academia da França, mas sem controle do Estado. Em 11 de julho de 1700, seria criada a Academia de Ciências de Berlim (reconhecida em 19 de janeiro de 1711), apesar de estar a cidade distante dos principais centros culturais alemães e não possuir universidade ou instituição de ensino superior.

Leibniz, consciente do atraso da Alemanha em assuntos científicos com relação à Itália, França, Inglaterra e Países Baixos, crente na Ciência como fator de prestígio nacional, seguro de seu papel, por meio do Estado, na política social e econômica, seria o grande propagandista na Alemanha da necessidade de os governantes apoiarem o ensino e a pesquisa da Ciência. Em carta ao Príncipe Eugênio em favor da criação de uma Academia científica em Viena, Leibniz esclarecia que

> para se poder aperfeiçoar as artes práticas, manufaturas, agricultura, os dois tipos de arquitetura (civil e militar), a descrição topográfica dos países, e a exploração mineira, como também para proporcionar trabalho aos pobres, para encorajar inventores e empresários, e finalmente para tudo o que tem a ver com a economia ou a mecânica do estado civil e militar, são necessários observatórios, laboratórios, jardins botânicos, jardins zoológicos, gabinetes de raridades naturais e uma história físico-médica para cada ano baseada nas experiências e observações que os doutores assalariados teriam a obrigação de fornecer (citado por Ruppert Hall).

Ainda por influência de Leibniz, foi fundada em Leipzig, no ano de 1682, uma publicação periódica dedicada à divulgação científica, intitulada *Acta Eruditorum.*

Apesar da importância das Academias no processo de valorização e divulgação da Ciência, além da criação de um clima de cooperação de

[83] MASON, Stephen. *Historia de la Ciencia.*

esforços e de formação de comunidade científica no século XVII, seu papel para o desenvolvimento científico não deve ser, contudo, superestimado. O pesquisador continuaria a ser o filósofo natural, devotado ao trabalho em seu laboratório (Galileu, Kepler, Malpighi, Torricelli, Leeuwenhoek, Boyle, Newton). A obra, apresentada e discutida nas reuniões e eventualmente publicada, não era muitas vezes de iniciativa da Academia. Não havia o trabalho de equipe, como concebido hoje em dia. O levantamento de informações e a experimentação tinham o incentivo das Academias, sem condições de efetuar tais trabalhos. A Ciência experimental ganhou, assim, terreno, ajudando a criar um clima favorável à investigação e ao empirismo. Pode-se considerar, portanto, que as Sociedades Científicas foram uma espécie de protoinstitutos de pesquisa, numa época em que as universidades eram apenas organizações de ensino.

6.4 A Ciência no Século XVII

Comparado com outras épocas anteriores da História da Ciência, foi o século XVII palco de extraordinário desenvolvimento científico, tanto no terreno metodológico e conceitual, quanto no experimental e investigativo. A atividade pioneira dos teóricos e pesquisadores conduziu ao surgimento do moderno pensamento científico, responsável pelo advento da Ciência Moderna ou, como querem alguns, da nova Ciência. O desenvolvimento técnico, em especial o relacionado com a invenção e a inovação de instrumentos científicos de precisão, de medição e de observação, muito contribuiria, igualmente, para a evolução da Ciência experimental. Metodologias para o conhecimento científico e melhor entendimento dos fenômenos naturais foram concebidas. A vida científica, bastante mais intensa que em períodos anteriores, despertaria interesse em diversos círculos sociais e intelectuais, vindo a contar inclusive com o patrocínio do Estado e o apoio dos salões. As Academias e as publicações especializadas passariam a divulgar as atividades dos pesquisadores e os trabalhos teóricos.

O conceito de leis, e sua aplicabilidade, se expandiram às Ciências físicas e se impuseram definitivamente como reguladoras dos fenômenos naturais. O método matemático e abstrato, que criaria as leis da Natureza, se afirmaria, a partir de Galileu, no estudo dos fenômenos físicos (movimento). O conceito científico de lei, desconhecido na Antiguidade, surgiria, no dizer de Ruppert Hall, "de uma peculiar interação entre as ideias religiosas, filosóficas e legalistas do Mundo europeu medieval"[84].

[84] HALL, A. Ruppert. *A Revolução na Ciência – 1500-1750.*

Está aparentemente relacionado com o conceito de lei natural, familiar aos juristas medievais em notável desvio da atitude grega para com a Natureza. Como explica, ainda, o citado Ruppert Hall, o uso da palavra lei em semelhantes contextos teria sido ininteligível na Antiguidade, ao passo que a crença hebraica e cristã numa divindade, simultaneamente Criador e Legislador, o tornava válido. A ideia de Aristóteles de ser a regularidade dos movimentos planetários afeta à vigilância de inteligências passaria a ser decorrência da obediência a decretos divinos. Nesse sentido, a existência de Leis da Natureza era uma consequência necessária para a perpetuidade dos desígnios da Natureza. Ao Homem, fora concedido o livre arbítrio ou o poder de transgredir a lei; aos planetas, não lhes fora concedido o poder de se desviarem de suas órbitas. O Criador dotara a matéria, as plantas e os animais de certas propriedades e características inalteráveis, dentre as quais as mais universais constituíam as Leis da Natureza, discerníveis pelas razões humanas.

Como declararia o cartesiano Robert Boyle,

> Deus estabeleceu aquelas regras do movimento, e aquela ordem entre as corpóreas coisas, a que chamamos leis da Natureza. Tal concepção seria irreconciliável com o animismo antigo. As regras quantitativas na Antiguidade clássica eram denominadas de princípios, como os da alavanca e da flutuação de Arquimedes. O mesmo ocorria na Idade Média e no Renascimento Científico. O próprio Galileu denominava suas regras quantitativas de princípios ou proposições, como o "princípio da inércia[85].

Descartes foi, de fato, o primeiro a utilizar consistentemente o termo e o conceito de Leis da Natureza. Após Descartes, tornou-se usual a expressão, utilizada por Newton que a divulgou e a popularizou (lei da gravitação universal, leis do movimento). Note-se que Boyle considerava o termo como expressão figurada e imprópria. Na concepção de Descartes, criado o Universo, Deus governaria o Mundo por meio de suas leis da Natureza, as quais passariam a atuar independente do criador. A quantidade de matéria e de movimento seria constante e eterna, bem como as leis da Natureza, às quais estava submetido o Universo A concepção medieval da participação diária do criador no funcionamento do Mundo era, assim, substituída por um mecanicismo regido por leis, que deveriam ser descobertas.

Tal evolução de concepção é da maior importância na História da Ciência, porquanto correspondeu ao surgimento de um pensamento científico positivo, ainda que sem abandonar completamente sua base

[85] MASON, Stephen. *Historia de las Ciencias.*

metafísica, ou seja, a busca pela causa primeira do fenômeno. Esse novo caminho conceitual de positividade científica foi aberto por filósofos naturais que seguiram, contudo, em seus trabalhos, considerações de ordem metafísica, em suas distintas abordagens, como Kepler, Descartes e Leibniz. Outros, no entanto, como Bacon, Galileu e Newton, podem ser considerados como notáveis exceções no particular, pois foram capazes de separar, em várias passagens de suas obras, Metafísica e Ciência, ainda que profundamente devotados às suas respectivas crenças religiosas.

Bacon foi criado num ambiente calvinista em Teologia e puritano na Moral, tendo adquirido sólida formação cultural e extenso conhecimento de Filosofia antiga e Escolástica. Crítico dos pensamentos filosóficos da Antiguidade e da Idade Média, considerava-os responsáveis pelo atraso científico e pelo retardamento no conhecimento da Natureza. Uma das características marcantes de seu pensamento foi sua aversão à interferência da religião em assuntos de conhecimento natural. A separação entre os assuntos divinos, objeto da Teologia, e os naturais, objeto da Filosofia e da Ciência, se reflete nitidamente em sua obra principal *Novum Organum* (1620), na qual explicou seu método indutivo, experimental e antiespeculativo sem recorrer à Metafísica, ao misticismo, à Teologia e à religião. Aliás, Bacon foi notoriamente um crítico da magia, da Alquimia, da Astrologia, de superstições e da Escolástica[86]. No aforismo LXXXIX do citado *Novum Organum*, fez referência às atribuições distintas da Teologia, de um lado, e da Ciência e da Filosofia, de outro:

> Não se deve esquecer de que, em todas as épocas, a Filosofia se tem defrontado com um adversário molesto e difícil na superstição e no zelo cego e descomedido da Religião... entre os gregos foram condenados por impiedade os que... ousaram proclamar aos ouvidos não afeitos dos homens as causas naturais do raio e das tempestades. Não foram melhor acolhidos, por alguns dos padres da Religião cristã, os que sustentaram, com demonstrações certíssimas, ... que a Terra era redonda e que, em consequência, existiam antípodas... nas atuais circunstâncias, as condições para a Ciência natural se tornaram mais árduas e perigosas, devido às sumas e aos métodos da Teologia dos escolásticos. Estes... celebrando com grande pompa e solenidade, como legítimo, o consórcio da fé com a razão... Essas combinações da Teologia e Filosofia apenas compreendem o que é admitido pela Filosofia corrente. As coisas novas, mesmo levando a uma mudança para melhor, são não só repelidas, como exterminadas... mercê da infâmia de alguns teólogos, foi quase totalmente barrado o acesso à Filosofia, mesmo depurada. Alguns

[86] COLEÇÃO Os Pensadores – *Bacon.*

> temem que uma investigação mais profunda da Natureza avance além dos limites permitidos... outros pretendem ser mais fácil atribuir-se os eventos singulares à mão e à férula divinas... Na verdade, procuram agradar a Deus pela mentira... como se os homens, no recesso de suas mentes e no segredo de suas reflexões, desconfiassem e duvidassem da firmeza da Religião e do império da Fé sobre a Razão e, por isso, temessem o risco da investigação da verdade na Natureza... a Filosofia Natural, depois da palavra de Deus, é a melhor medicina contra a superstição, e o alimento mais substancioso da Fé. Por isso, a Filosofia Natural é justamente reputada como a mais fiel serva da Religião, uma vez que uma (as Escrituras) torna manifesta a vontade de Deus, outra (a Filosofia Natural) o seu poder.

Kepler é um dos fundadores da Astronomia Moderna, pela descoberta das chamadas três leis do movimento planetário e por sua comprovação da ainda controvertida teoria heliocêntrica de Copérnico. Luterano e místico, Kepler teve uma visão do Mundo totalmente derivada das verdades bíblicas, construindo um modelo de Universo baseado num misticismo exacerbado, misturado com Filosofia grega antiga, Astrologia, Astronomia, Geometria e Música. Convicto de se tratar de uma obra divina, por conseguinte perfeita, incluía em sua visão do Mundo a concepção pitagórico-platônica da harmonia matemática celeste, da limitação dos planetas ao número perfeito 6 (seis) e da geometrização do Universo, procurando estabelecer uma correlação entre o movimento dos planetas e a escala musical. Kepler enviaria um exemplar de seu *Mysterium Cosmographicum* a Galileu para comentários, o qual, por prudência talvez, preferiu não emitir opinião sobre tal obra.

O filósofo Descartes tivera em sua obra uma preocupação de justificativa filosófica, de fundamentação causal para os fenômenos físicos, da qual emanariam as leis da Natureza. A compreensão total do Universo pressupunha partir da causa primeira das coisas, ao porque dos fenômenos, como se refere Descartes em *Princípios Filosóficos*. Da existência do pensamento humano, decorreria a existência de Deus, a qual fundamenta a possibilidade do conhecimento verdadeiro, que seria atingido por meio da Razão. Segundo Koyré, citado por Rubano e Moroz[87], Descartes, ao contrário de Galileu, não se perguntava sobre como a Natureza é ou se comporta, mas sim sobre qual o curso que a Natureza deve seguir. Em vez de observar e procurar as causas dos fenômenos com os dados da Natureza, Descartes assumiria que as relações causais se dão por deduções racionais em que, partindo-se de princípios gerais, se chegaria

[87] RUBANO, Denise; MOROZ, Melania. *Para Compreender a Ciência.*

às suas decorrências ou efeitos. À experimentação e à observação caberia o papel de confirmar as possíveis suposições deduzidas dos princípios. Com esse enfoque metafísico, construiria Descartes seu sistema filosófico mecanicista-racionalista.

Galileu e Newton se limitaram a uma abordagem física para os fenômenos, procurando explicar como estes sucediam sem ir além das descrições matemáticas. Preocupações filosóficas não deveriam interferir no enfoque estritamente científico. Suas obras em nenhum momento pretenderam contestar as verdades bíblicas da Criação, nem colocaram em dúvida suas Fé cristã e religiosidade. Sem entrar em indagações sobre os propósitos do Criador, esses cientistas se limitariam ao domínio terreno, sem especulações filosóficas ou metafísicas[88]. O próprio Descartes, ao comentar em carta a Mersenne a *Exposição sobre as Duas Novas Ciências*, assinalou que concordava com "Galileu em examinar a Física pelo método matemático. Nisto estou em perfeito acordo com ele...", porém pouco depois acrescentaria que Galileu "sem ter estudado as primeiras causas da Natureza buscou meramente razões para certos efeitos particulares e, deste modo, edificou sem um fundamento". Em outra ocasião, escreveria Descartes que "Galileu explicou muito bem "o que" sucede (*quod ita fit*) com a balança e a alavanca, mas não "porque" sucede (*cur ita fit*) como fiz em meu *Princípios*"[89].

Galileu, diante das alegações de seus detratores de que suas afirmações científicas contradiziam a Bíblia, defendeu-se com o argumento de que "nenhum dos efeitos físicos que são postos diante de nossos olhos jamais deveriam ser colocados em dúvida por passagens das Escrituras que parecem ter uma significação verbal diferente... Duas verdades nunca podem contradizer uma à outra". Em sua célebre *Carta à Madame Cristina de Lorena*, de 1615, Galileu foi mais claro e incisivo:

> ...alguns anos atrás descobri no céu muitas coisas que não tinham sido vistas antes de nossa época. O caráter de novidade, bem como algumas conseqüências que delas decorreriam contradizendo as noções físicas comumente acalentadas entre os filósofos acadêmicos, incitaram contra mim um número bem considerável de defensores dessas noções – como se eu as tivesse posto no firmamento com minhas próprias mãos com o intuito de perturbar a natureza e subverter as Ciências... Demonstrando maior apreço por suas próprias opiniões do que pela verdade, eles procuraram negar e refutar as coisas novas... Afirmo que o Sol situa-se imóvel no centro da revolução

[88] BURTT, Edwin A. *As Bases Metafísicas da Ciência Moderna.*
[89] CROMBIE, Allistair C. *Historia de la Ciencia*.

> do orbe celeste, enquanto a Terra gira sobre seu eixo e faz revoluções em torno do Sol. Eles decidiram fabricar um escudo para suas falácias com o manto de uma religião simulada e da autoridade da Bíblia... Não me sinto na obrigação de acreditar que o mesmo Deus que nos dotou de sentidos, Razão e intelecto tencionava descartar o uso destes e por algum outro meio nos dar o conhecimento que com eles podemos obter...A intenção do Espírito Santo é ensinar-nos como se vai para o céu, e não como o céu funciona...

Newton, por exemplo, em sua *Óptica* declarou que "... eu não examino aqui qual possa ser a causa dessas atrações... não uso aqui a palavra "atrações" senão para significar em geral uma força qualquer, pela qual os corpos tendem reciprocamente um para o outro "qualquer que seja a causa". No *Princípios*, Newton explicou ainda que considerava sua força da gravidade matematicamente e não fisicamente: "...basta que a gravidade exista realmente e que ela aja de acordo com as Leis que expusemos e que seja suficiente para explicar todos os movimentos dos corpos celestes...". Assim, as Leis explicam, por indução, os fenômenos, mas não as causas, exame que transcende à Ciência e cai no domínio da Metafísica. Desta forma, "ao metafísico as causas, aos sábios as Leis, somente as Leis"[90], na linha do pensamento cartesiano de Malebranche.

Profundamente religioso, o metafísico Leibniz discordava dos princípios mecanicistas de Descartes e de Newton. Para o filósofo alemão, a concepção cartesiana era absolutamente inaceitável, porquanto desmerecia a perfeição divina e a obra do criador, recusando-se, assim, a aceitar que o Universo pudesse funcionar como um relógio, prescindindo da ação constante e direta de Deus. Por outro lado, a concepção de Newton de espaço e tempo como reais e absolutos, fundamento da Física Moderna, era energicamente rejeitada, pois, se verdadeira, seriam independentes de Deus e imporiam limitações ao poder divino. O conceito de atração à distância, embutido na ideia de gravidade, que não foi explicada por Newton, parecia-lhe uma ideia Escolástica, um passo atrás no estudo e na fundamentação da Mecânica Celeste. A grande divergência de pontos de vista entre Newton e Leibniz foi descrita pelo próprio Newton:

> É preciso reconhecer que esses dois cavalheiros diferem muito em Filosofia. O primeiro (ele próprio) procede a partir de evidência que resulta de experimentos e fenômenos e se detém quando essa evidência falta; o outro contenta-se em propor hipóteses... o primeiro, em razão da ausência de experimentos para decidir a questão, não afirma se a causa da gravidade é

[90] TATON, René. *La Science Moderne.*

> mecânica ou não mecânica; o outro afirma que seria um milagre perpétuo se não fosse mecânica (citado por Hellmam em *Grandes Debates da Ciência*).

Os mais importantes e significativos avanços foram realizados no campo da Matemática e nas esferas da Astronomia e da Mecânica. Quanto à Matemática, se registraram decisivas inovações e invenções, como o Logaritmo (Napier), a Geometria analítica (Fermat e Descartes), a Teoria das Probabilidades (Fermat e Pascal), o Cálculo (Newton, Leibniz e Bernoulli), a Moderna Teoria dos Números (Fermat), o que viria a possibilitar uma verdadeira revolução em alguns ramos das Ciências Exatas.

Na esfera da Astronomia, além da adoção definitiva da teoria heliocêntrica de Copérnico e das importantes observações e descobertas astronômicas, Galileu, Kepler, Huygens e Newton formularam os princípios da Mecânica Celeste. Surgiram os primeiros Observatórios astronômicos da Europa, o que levaria ao desenvolvimento da Astronomia de observação.

No campo da Física, os fenômenos magnéticos e elétricos foram estudados (Gilbert), a Óptica se transformou numa Ciência matemática (Huygens, Newton), a Dinâmica, ponto de partida para o conhecimento dos fenômenos naturais, seria renovada a partir de Galileu. Se no campo teórico Newton formulou a lei da gravidade e elaborou conceitos básicos (massa, força, inércia, tempo, movimento), no experimental (Torricelli, Guericke, Hooke) foram igualmente registrados progressos significativos.

A Química, sem qualquer significativo avanço no campo teórico, se firmaria como uma ciência experimental, mas continuaria refém de preconceitos antigos e concepções alquímicas, que continuariam a contar com adeptos no meio intelectual, embora sem o prestígio e popularidade de épocas anteriores. Boyle (iniciador da Química Analítica, classificação de compostos e reexame da teoria atômica), van Helmont (estudo dos gases) e Becher (elementos simples, corpos compostos) foram os mais eminentes estudiosos, pesquisadores e experimentadores desse período.

No domínio das Ciências da Vida, foram dados os primeiros passos para o estabelecimento de bases verdadeiramente experimentais para seu futuro desenvolvimento. As descobertas da circulação sanguínea (Harvey) e linfática (Pecquet e Bartholin) e de micro-organismos, bactérias e espermatozoide (Leeuwenkoek) devem ser mencionadas como marcos iniciais de extraordinária importância na futura evolução da Biologia. Fisiologia e nutrição vegetal (Hooke, Mariotte) e sexualidade vegetal (Malpighi) atestam o crescente interesse pelo conhecimento do reino vegetal. A História

Natural continuaria a gozar de prestígio no meio intelectual e a despertar curiosidade no grande público; a preocupação dos naturalistas estaria ainda concentrada na descrição e na classificação dos elementos da flora e da fauna em prosseguimento dos estudos elaborados no século anterior.

Os trabalhos na área das Ciências da Terra continuariam a ser dominados por considerações de ordem metafísica e teológica, devendo ser consignada a exceção dos estudos pioneiros, de cunho científico, em Estratigrafia, feitos pelo sacerdote dinamarquês Steno, reconhecidamente fundador da Geologia.

A seguir são apresentadas informações mais circunstanciadas sobre o desenvolvimento dos principais ramos científicos.

6.5 Matemática

O significativo desenvolvimento da Matemática nos séculos XV e XVI se deveu a diversos fatores, sendo mais relevantes os de ordem econômica (expansão comercial, monetarização da economia, surgimento do sistema bancário, requerimentos contábeis). Exigências de agrimensura, de navegação, das novas máquinas e armas de guerra e das grandes obras públicas e o acesso às obras de Euclides, Apolônio, Arquimedes, Pappus, Diofanto e outros matemáticos gregos contribuíram, igualmente, para o renascimento nos campos da Aritmética, da Álgebra, da Geometria e da Trigonometria. A escrita dos números árabes se encontrava praticamente no estilo moderno, mas os romanos ainda eram bastante utilizados, inclusive na contabilidade. Surgiriam, nessa época, as primeiras tentativas de uso de símbolos para facilitar e agilizar as operações aritméticas em substituição à argumentação discursiva, retórica, difusa[91]. A notação algébrica com o emprego das letras para indicar quantidade desconhecida ou indeterminada foi instituída por Viète por volta de 1600. Trabalhos sobre a quadratura do círculo e o π (PI) foram retomados, tendo Viète encontrado nove casas decimais exatas para o PI, van Roomen 15 casas e van Ceulen 20, em 1596, e 92 casas, em 1615 (obra póstuma). Frações decimais foram introduzidas por Stevin em *La Disme* em 1585.

A despeito desses importantes avanços, a Matemática do Renascimento Científico não estava ainda suficientemente evoluída e sofisticada para servir de adequada ferramenta às exigências econômicas e científicas do século XVII. À medida que o argumento qualitativo para explicar os fenômenos naturais era rejeitado e substituído pela

---

91 STRUIK, Dirk. *História Concisa das Matemáticas.*

expressão matemática (medição, precisão), novas técnicas e novos avanços conceituais se impunham para as pesquisas e estudos das hoje chamadas Ciências Exatas. Tal tarefa seria, de algum modo, facilitada pelo caráter duplo dos "filósofos naturais" da época, dado o interesse dos matemáticos pelas ciências físicas e dos filósofos naturais pela Matemática (Kepler, Galileu, Pascal, Descartes, Torricelli, Fermat, Bartholin, Huygens, Newton, Leibniz).

A Matemática teria, em consequência, um progresso tão extraordinário no século XVII que, além de servir de ferramenta para o advento das Ciências Exatas, ingressou na modernidade com a invenção do Cálculo (logaritmo, infinitesimal), o que permitiria simplificar e facilitar as complicadas operações, requeridas, até então, na Astronomia e na Mecânica. O Cálculo não foi, contudo, a única inovação da Matemática no século XVII. As Geometrias projetiva e analítica, a Teoria dos Números e a Teoria das Probabilidades surgiram nesse período, completando um quadro bastante diferente do da época de Viète. Desta forma, não há dúvida de que a limitação do conhecimento matemático impediu maior avanço na Astronomia matemática de Copérnico, ao passo que o desenvolvimento da Física de Newton só foi possível graças aos progressos nos vários campos da Matemática no século XVII.

6.5.1 Cálculo Logarítmico

Houve sempre uma preocupação por parte dos matemáticos de simplificar as operações matemáticas, tanto para agilizar o processo de cálculo, quanto para ganhar tempo em uma atividade não criativa. Já Arquimedes havia introduzido um método de comparar duas sucessões: uma aritmética, de razão 1, e outra, geométrica, de razão 2. A questão tomou mais ímpeto no século XVI com a divulgação das obras do gênio de Siracusa e o desenvolvimento da Astronomia matemática a qual, cada vez, requeria mais complexos, precisos e demorados cálculos. Os métodos até então utilizados para os cálculos de senos, tangentes e outras funções trigonométricas já não satisfaziam aos astrônomos, que perdiam boa parte de seu tempo em complexas e enfadonhas operações matemáticas. Em sua obra *Arithmetica Integra*, de 1544, o alemão Michael Stifel (1487-1567) já explorava o conceito de logaritmo e buscava coordenar progressões aritméticas e geométricas[92], com vistas exatamente a agilizar os cálculos astronômicos.

A grande inovação dos logaritmos foi devida ao escocês John Napier (1550-1617), divulgada em dois livros: o *Mirifici Logarithmorum*

[92] STRUIK, Dirk. *História Concisa das Matemáticas.*

Canonis Descriptio (*Descrição da Maravilhosa Regra Logarítmica*), de 1614, e o *Mirifici Logarithmorum Canonis Constructio* (*Construção da Maravilhosa Regra Logarítmica*), de 1616; na primeira obra, Napier explicou a natureza dos logaritmos e, no segundo, o método de construção da tábua logarítmica. O termo, de origem grega e criada por Napier, deriva de Logos (razão) e *arithmos* (números), isto é, número da razão, pois representa as vezes que se toma a base como fator para obter o número. Nesses trabalhos, Napier utilizou sistematicamente o ponto (ou a vírgula) decimal. Deve-se a Napier um engenhoso dispositivo mnemônico, conhecido como regra das partes circulares, para reproduzir fórmulas usadas na resolução de triângulos esféricos, duas fórmulas trigonométricas de um grupo de quatro conhecidas como analogias de Napier, úteis para a resolução de triângulos esféricos obliquângulos, e a invenção de um instrumento conhecido como barras de Napier ou ossos de Napier, usado para efetuar mecanicamente multiplicações, divisões e extrair raízes quadradas de números[93].

O inglês Henry Briggs (1561-1630), trabalhando com Napier, difundiria e aperfeiçoaria a invenção com a publicação, em 1624, da *Arithmetica Logarithmica*, da qual constavam logaritmos de 14 casas decimais do número 1 ao 20 mil e do número 90 mil ao 100 mil; a inovação da tábua na base 10 tornaria mais prático o emprego dos logaritmos[94]. O intervalo (do 20 mil ao 90 mil) seria preenchido por Ezequiel de Decker e Adrian Vlacq, em 1627, o que completaria a tábua Napier-Briggs.

O método consiste em escrever os números em forma exponencial (4 como 2^2, 8 como 2^3, etc.), transformando a multiplicação em adição das potências e a divisão em subtração dos mesmos. Assim, a multiplicação e a divisão eram substituídas pelas operações mais simples de adição e de subtração. Dado que o sistema de numeração é decimal, os logaritmos são essencialmente os de base 10. Um exemplo simples explicará melhor o novo método: 100X1000 se transforma em 10^2 X 10^3 que pela soma dos expoentes 2 + 3 se transforma em 10^5, ou 100000. Os números podem ser apresentados, assim, dessa nova forma: 2345, por exemplo, pode ser escrito $10^{3,37}$, em que o logaritmo de 2345 é 3,37 [95]. A nova invenção foi imediatamente aceita nos meios matemáticos e passou a ser utilizada na maioria dos processos aritméticos (multiplicação, divisão, potenciação e radiciação) e na Trigonometria até o recente aparecimento das calculadoras eletrônicas.

Independente do trabalho de Napier-Briggs, o suíço Joost Bürgi publicou em 1620 seu *Arithmetische und Geometrische Progresstabulen*, que,

---

93 EVES, Howard. *Introdução à História da Matemática.*

94 GARBI, Gilberto G. A *Rainha das Ciências.*

95 GRIBIN, John. *Science, a History.*

além de uma tábua de logaritmos, calculada entre 1603 e 1609, continha uma tabela de senos de ângulos. Os trabalhos de Napier, Briggs e Bürgi aguçaram o interesse dos matemáticos pelo assunto, surgindo então estudos e ensaios, entre outros, de Kepler, Speidell, Cavalieri, Gunter, Vlacq, Henrion[96]. Cabe mencionar o estudo intitulado *Logarithmotechnia* (1668) de Nicolau Mercator (1620-1687), que inclui a chamada série de Mercator.

6.5.2. Geometria analítica

A Geometria analítica (Geometria algébrica) é um método de exprimir relações geométricas em termos algébricos ou, em outras palavras, consiste na combinação da Álgebra com a Geometria. Criada por Descartes, foi exposta em sua única obra matemática *Géométrie*, publicada em 1637 como apêndice do famoso *Discurso sobre o Método*. A primeira parte do trabalho contém uma explanação de alguns dos princípios da Geometria algébrica; a segunda parte apresenta uma classificação de curvas (agora superada) e um método de construir tangentes a curvas, e a terceira parte trata da resolução de equações de grau maior que dois. A *Géométrie* não é um desenvolvimento sistemático do método analítico, sendo seu leitor obrigado a quase constituir o método por si mesmo, a partir de certas informações isoladas Há trinta e duas figuras no texto, mas em nenhuma delas se encontram colocados os eixos coordenados[97]. O texto foi escrito de forma intencionalmente obscura. A tradução latina da obra, em 1649, editada e comentada por Franz van Schooten (1615-1660), com edições em 1683 e 1685, contribuiria para esclarecer o conteúdo da obra de Descartes. Em 1656/57, Schooten publicou obra sua intitulada *Exercitationes mathematicae*, com aplicações da Álgebra à Geometria. No mesmo sentido, escreveria o matemático holandês Johann Hudde (1629-1704), autor de *De reductione aequatium*, cuja obra foi incluída na edição da *Geometria* de Descartes[98].

A combinação da Álgebra e da Geometria seria altamente benéfica para a evolução desses dois ramos da Matemática, e serviria de ferramenta importante para a Trigonometria e o Cálculo infinitesimal de Newton, que consiste essencialmente na aplicação da Álgebra a fenômenos de transformação uniforme (como aceleração), que podem ser representados por meio das mais variadas curvas. A Geometria analítica significava

[96] TATON, René. *La Science Moderne.*
[97] EVES, Howard. *Introdução à História da Matemática.*
[98] BOYER, Carl. *História da Matemática.*

ampliar a limitação dimensional da Álgebra, e, ao fazer, por exemplo, que os quadrados ou cubos de termos (x^2, y^3) representassem linhas, foi capaz de resolver problemas geométricos em forma algébrica e de empregar a Álgebra para resolvê-los[99].

O tema fora objeto de algumas iniciativas e especulações desde Apolônio, que já tinha uma caracterização de secções cônicas por meio do que se poderia chamar de coordenadas, embora não lhes fossem atribuídos valores numéricos; na *Geographia* de Ptolomeu, a latitude e a longitude eram coordenadas numéricas; na sua *Coleção*, Pappus, de alguma maneira aplicou Álgebra à Geometria e a ideia de representação gráfica tinha ocorrido a Oresme[100].

No dizer do citado Struik, o mérito de Descartes se encontra, sobretudo, na aplicação consistente da desenvolvida Álgebra do século XVI à Geometria dos Antigos, e, assim, um enorme alargamento da Álgebra e um tratamento geral das curvas geométricas. A Geometria analítica permitiu pela primeira vez a representação gráfica das funções e permitiu determinar, de forma sistemática e precisa, as propriedades de uma grande variedade de curvas, vistas como representações de equações. Ajudou também a resolver o problema das tangentes, antes da invenção do Cálculo, pela determinação da linha que fica tangente a uma dada curva em um dado ponto. O impacto dessa inovação no estudo da Astronomia e da Física, através do cálculo, é evidente.

Duas ideias são básicas no método analítico: a localização dos pontos de uma figura por meio de coordenadas e a representação de uma curva por meio de uma equação com duas ou três variáveis. Esse método, aplicável à Geometria euclidiana e à de três ou mais dimensões, demonstrou ser eficaz em encontrar soluções geométricas por via algébrica, daí sua relevância na evolução da Matemática. A Geometria analítica estabeleceu, assim, uma correspondência entre duas entidades básicas da Geometria e da Álgebra: o ponto geométrico e o número. Um ponto qualquer de uma superfície plana pode ser localizado pelo cálculo das distâncias entre esse ponto e os pontos de dois eixos desse plano, tomados como referência; nesses eixos cada ponto é substituído por um número real, resultado da medida de sua distância à origem com uma unidade arbitrária. Daí resulta que para cada posição do ponto no plano correspondem dois números reais, um sobre o eixo dos X ou abscissa e outro sobre o eixo dos Y ou ordenadas. Reciprocamente, a cada par de números reais, em certa ordem, corresponderá uma posição do ponto no plano. Com isso foi possível

---

[99] CROMBIE, Allistair C. *Historia de la Ciencia (volume 2).*
[100] STRUIK, Dirk. *História Concisa das Matemáticas.*

estudar as curvas planas através de suas equações, do tipo F(x,y) = 0, onde x representa os valores das abscissas e y os das ordenadas dos pontos da curva. Desse modo, o estudo de uma família de curvas passou a ser feito em caráter geral e as propriedades afins de diferentes curvas passaram a ser estabelecidas por meio de suas equações, por um método universal, bem ao contrário do adotado pela Geometria dos Antigos, que estudava cada curva isoladamente sem uma visão do conjunto.

Consta que Descartes, ao meditar em seu quarto, observou uma mosca que voava; teria então lhe ocorrido que a posição do inseto em qualquer momento poderia ser representada por três números, a partir das distâncias das três paredes no canto[101].

Como explicou Ronan, o método de Descartes consistiu de notação de pontos e linhas por meio de números ou, algebricamente, por meio de letras. São as conhecidas coordenadas cartesianas. Num mapa, uma rede de linhas perpendiculares, com letras e números, serve de referência para a localização de determinado ponto geográfico; com o emprego dessa técnica, Descartes descobriu que poderia expressar uma linha ou uma curva em forma de equação algébrica[102].

Outro matemático francês, Pierre Fermat (1601-1665), teve na mesma época de Descartes a ideia de representar uma curva por meio de uma equação, sendo o primeiro a descobrir um método de resolução de problemas de máximo e mínimo, isto é, encontrar o maior e o menor valores que podem tomar uma quantidade variável e expressá-los por uma equação. A obra de Fermat (o manuscrito data de 1637) só foi publicada postumamente, em 1679, como *Isagoge ad locus planos et solidos* (*Introdução aos Lugares Geométricos retilíneos ou cônicos*). A descoberta de Fermat exerceria considerável influência no desenvolvimento de métodos mais gerais de Cálculo, que passava a incorporar problemas de máximo e de mínimo, áreas sob curvas, grandezas infinitesimais e a taxa de mudança de variáveis de todas as espécies. No trabalho, se encontram a equação geral da reta e da circunferência, e uma discussão sobre hipérboles, elipses e parábolas.

Outros autores do século XVII contribuíram para o estudo e desenvolvimento da Geometria analítica, como Gregório de Saint Vincent (1584-1667), autor de *Opus Geometricum quadraturae circuli et sectionum coni* (1647), John Wallis no *Tratactus de sectionibus conicis* (1655), Johan de Witt no *Elementa curvarum linearum* (1659), de Guillaume L'Hôpital no *Traité Analytique des Sections Coniques* (1707). Newton em *Enumeratio linearum tertii ordinis* (1704) classificou as curvas cúbicas planas em 26 espécies, sendo este

---

[101] BOYER, Carl. *História da Matemática.*
[102] RONAN, Colin. *História Ilustrada da Ciência.*

o primeiro resultado novo importante atingido pela aplicação da Álgebra à Geometria[103]. Em *Arithmetia Universalis*, obra composta entre 1673-1683, mas publicada somente em 1703, Newton trataria da Geometria analítica e da resolução de questões geométricas, sendo esta última parte a mais extensa.

A contribuição de Leibniz à Geometria analítica data de 1692, com o emprego no sentido técnico moderno das palavras coordenadas, abscissa e ordenada.

6.5.3 Geometria

A Geometria foi um dos ramos da Matemática, desde os gregos, de maior interesse e atração para os estudiosos das Ciências Exatas. A tradução das obras para o latim, em especial de Euclides, Apolônio, Arquimedes, Pappus e Diofanto, proporcionaria a divulgação do nível do conhecimento pelos gregos e serviria de base para avançar nas pesquisas. Embora praticamente todos os matemáticos tenham se interessado pela Geometria, especial menção deve ser feita a Blaise Pascal (1623-1662) que, desde muito jovem, demonstrou excepcional talento para a Matemática. Aos 14 anos frequentava, com seu pai, as reuniões semanais sobre Matemática na residência de Marin Mersenne e conheceu Gerard Desargues, que o estimulou a se dedicar à Geometria. Em pouco tempo (1640), escreveria um *Essay pour les coniques* (Ensaio sobre as Cônicas), no qual apresentou o conhecido Teorema do *Hexagrammum Mysticum* ou Teorema de Pascal, em que afirma serem colineares os três pontos de cruzamento dos pares de lados opostos de qualquer hexágono inscrito numa cônica; o teorema é válido tanto para o hexágono convexo, quanto para o côncavo, e dele foram deduzidos um grande número de corolários[104].

Pascal estudaria ainda a Cicloide, curva não algébrica, que despertava o interesse generalizado dos geômetras, tendo descoberto vários teoremas, como o centro de gravidade e o volume do sólido gerado pela rotação de um arco em torno do eixo, que apareceriam na publicação *Traité Générale de la Roulette*, sob o pseudônimo de Amos Dettonville[105]. Além de sua contribuição para a Teoria das Probabilidades, Pascal se interessaria igualmente pela Hidrostática, tendo descoberto a lei que rege a distribuição das pressões em fluidos em repouso.

---

[103] STRUIK, Dirk. *História Concisa das Matemáticas.*
[104] GARBI, Gilberto G. *A Rainha das Ciências.*
[105] GARBI, Gilberto G. *A Rainha das Ciências.*

6.5.4 Cálculo

O Cálculo é a mais eficaz ferramenta matemática para a resolução de problemas que envolvam variações infinitesimais em taxas de movimento e para a determinação da trajetória de um corpo no espaço. O Cálculo se funda na ideia de considerar quantidades e movimentos não como definidos e imutáveis, mas como dinâmicos e flutuantes. Newton denominou, por isso, seu método de fluxos ou fluxões[106]. Dois foram os principais problemas que despertaram a atenção dos investigadores para processos que envolvem quantidades infinitamente pequenas: l) o problema das tangentes, isto é, da determinação do ponto exato em que uma reta tangencia uma curva (Cálculo diferencial); e 2) o problema das quadraturas, isto é, da determinação da área limitada por uma curva dada (Cálculo integral). Na realidade, não se trata de dois cálculos diferentes (um integral e outro diferencial), mas sim de duas operações inversas. O conceito de infinitésimo (quantidade variável que se pode tornar menor que qualquer quantidade arbitrariamente pequena), que escapou aos matemáticos gregos, ou de quantidade infinitamente pequena, permitiria solucionar dificuldades de interpretação de movimento, de determinação do ponto de tangência e das áreas limitadas por quaisquer curvas.

A partir do século XVI, a matematização dos fenômenos naturais e os avanços nas Ciências Exatas exigiam novos métodos de cálculo que atendessem às exigências de precisão da Astronomia e da Mecânica, por meio de processos mais rigorosos e eficientes, e, ao mesmo tempo, que pudessem exprimir corretamente as importantes leis quantitativas descobertas. Durante o período do Renascimento Científico, a Europa se familiarizou com os grandes matemáticos gregos pela tradução latina de Euclides (1482), Proclo (1560), Apolônio (1566), Aristarco, Herão, Pappus (1589), Eudoxo e Diofanto (1621). A tradução latina das obras de Arquimedes (*Medição do Círculo, Sobre a Esfera e o Cilindro, Sobre Espirais, Quadratura da Parábola e Sobre Corpos Flutuantes*), em 1558, por Frederico Comandino (1509-1575), revelou aos matemáticos da época a "maestria da técnica de cálculo e rigor nas demonstrações" daquele considerado por muitos como o maior matemático da Antiguidade[107].

A determinação da medida de uma figura geométrica é relativamente fácil quando o limite é dado por linhas retas, mas seu cálculo se torna bem mais dificultado quando o limite da área é dado por linhas curvas. Os gregos procuraram a resposta utilizando-se de

---

[106] BRENNAN, Richard. *Gigantes da Física.*

[107] CROMBIE, Allistair C. Historia *de la Ciencia.*

método geométrico e da régua e do compasso conhecido como método da exaustão, pelo qual a área de uma superfície delimitada por uma curva era encontrada inscrevendo-se polígonos de um número crescente de lados; à medida que o número de lados aumenta, mais e mais o polígono se assemelha a um círculo. Esse método, em que uma grandeza pode ser subdividida indefinidamente é creditado a Eudoxo, que determinou as áreas de muitas figuras dividindo-as em pequenos triângulos, cujo total seria um valor aproximado das áreas procuradas.

O próprio Comandino, tradutor e comentador de Arquimedes, utilizaria o método de exaustão para o cálculo de centros de gravidade (1565), assunto de muito interesse na época; Stevin escreveu sobre hidráulica e centro de gravidade em 1586, Luca Valério sobre centro de gravidade em 1606 e quadratura da parábola em 1604, e Paul Guldin em 1641 em *Centrobaryca* apresentou um teorema sobre centroides.

O desenvolvimento de métodos de Cálculo prosseguiria, principalmente pela influência estimulante da Astronomia (Copérnico, Tycho Brahe, Kepler, Galileu), que envolvia longos e complexos cálculos, de muita precisão, até o nível infinitesimal. Um dos pioneiros foi Johannes Kepler que, ao se casar pela segunda vez, construiu uma adega e resolveu calcular o volume de seus barris. Imaginou Kepler que cada barril fosse composto por um grande número de secções circulares bem estreitas, cuja área ele calculou e somou; intrigado com o método, empregou-o para calcular outras formas de área, e publicou um pequeno tratado sobre essa matéria (*Stereometria Doliorum Vinariorum* – 1615). No dizer de Colin Ronan, "esse sistema, que empregava cálculos de pequenas seções, adição de grandezas infinitamente pequenas, foi um conceito fundamental para a formulação da técnica de Newton e Leibniz".

O mais importante pioneiro do Cálculo infinitesimal foi o italiano Bonaventura Cavalieri (1598-1647), jesuíta, professor da Universidade de Bolonha e divulgador do uso dos logaritmos em seu livro *Directorium Generale Uranometricum* de 1632, com tabelas de senos, tangentes e secantes. Cavalieri escreveu ainda um *Tratado sobre Secções Cônicas* (1632) e *Trigonometria Plana, Esférica, Linear e Logarítmica* em 1643. No campo do Cálculo, Cavalieri desenvolveu o chamado método de indivisíveis similar ao do Cálculo integral para a determinação da área de figuras geométricas delimitadas por linhas ou superfícies curvas.

Apesar de ter terminado seu trabalho em 1629, Cavalieri, amigo, admirador e discípulo de Galileu, esperou seis anos para publicar seu livro em deferência a Galileu que planejava escrever, igualmente, sobre o assunto. A obra apareceu em 1635 com o título *Geometria Indivisibilibus Continuorum*

Nova Quadam Ratione Promota (*Certo Método para o Desenvolvimento de uma Nova Geometria de Indivisíveis Contínuos*). O método seria muito criticado, e, consequentemente, Cavalieri o refaria em 1647 no *Exercitationes Geometricae Sex*, tornando-o largamente empregado pelos matemáticos do século XVII. O método baseia-se na concepção do indivisível, em que o ponto gera a reta que gera o plano por meio do movimento; adicionou então segmento de reta para obter uma área e segmentos de planos para obter um volume. Por esse método, uma figura plana podia ser dividida num número infinito de linhas, o que seria muito útil para o cálculo de áreas sob curvas. Diante das críticas iniciais, Cavalieri substituiria a linha (definida como tendo comprimento, mas não largura) por faixa, ou seja, uma linha de pequena espessura[108].

O método de indivisíveis de Cavalieri seria aperfeiçoado por Giles Roberval (1602-1675), professor de Matemática do Colégio de França, estudioso de métodos para a determinação de área de superfície e de volume de sólidos. Roberval descobriu um método de traçar tangentes, considerando a curva como o resultado do movimento de um ponto móvel, bem como o de obter uma curva de outra. Apesar de seus estudos e descobertas acerca da curva cicloide, Roberval não os publicou. Em 1643, Torricelli enviaria a Mersenne seu trabalho sobre a quadratura da cicloide, e, no ano seguinte, publicaria a *De parabole*, na qual incluiria a quadratura da cicloide e a construção da tangente, o que levaria a Roberval de acusá-lo de plágio[109]. Sobre os indivisíveis, Pascal escreveria *Traité des sinus du quart de cercle*, obra lida e elogiada por Leibniz.

Nessa fase, até 1660, os autores priorizaram as questões relacionadas com as curvas algébricas; ocasionalmente surgia uma curva não algébrica, como a cicloide, investigada por Descartes e também por Pascal (*Traité Général de la Roulette* – 1658). Importantes foram igualmente os estudos do professor inglês John Wallis (1616-1703), um dos fundadores da Sociedade Real e autor de *Arithmetica Infinitorum* (1656), sobre curvas, séries infinitas e produtos infinitos.

Christiaan Huygens (1629-1695) em seu célebre *Horologium Oscilatorium* (1673) no qual, relacionado à Dinâmica, estudou a força centrífuga gerada nos movimentos circulares e deu a fórmula de seu Cálculo, estudou as evolutas (lugar geométrico dos centros de curvatura) e involutas de uma curva plana, bem como a tractriz, a curva logarítmica e a catenária (tipo de curva plana) e estabeleceu que a cicloide era uma curva tautócrona (tipo de trajetória de uma partícula). Com Huygens, o Cálculo atingiu sua forma mais avançada no período anterior a Newton e Leibniz.

108 GARBI, Gilberto G. *A Rainha das Ciências.*
109 BOYER, Carl. *História da Matemática.*

O Cálculo infinitesimal foi criado na mesma época, mas por métodos diferentes e independentes, por Newton (1665/66) e por Leibniz (1673/76). O cálculo dos fluxos ou das fluxões de Newton permitiu-lhe escrever *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* (1687), porém a divulgação de seu método constaria de um ensaio sobre a quadratura das curvas, de 1693 (publicado em 1704) e do *Método das Fluxões*, publicado postumamente em 1736[110]. O Cálculo diferencial de Leibniz foi publicado em 1684 (*Nova Methodus pro Maximis et Minimis*), no qual desenvolveu o método de diferençar todas as espécies de quantidades racionais, irracionais, inteiras ou fracionárias, e o Cálculo integral em 1686 (*De Geometria Recondita et Analysi Indivisibilium atque Infinitorum*), no qual expôs as regras fundamentais desse Cálculo. Haveria uma grave controvérsia entre esses dois grandes matemáticos a respeito da prioridade da descoberta, estando hoje em dia perfeitamente esclarecido que os métodos foram criados de forma independente, pelo que cabe a ambos a glória pelo desenvolvimento do Cálculo infinitesimal. O debate perdurou, contudo, por todo o século XVIII, isolando os matemáticos ingleses, que adotaram o método de Newton, dos do continente, que preferiram o de Leibniz, por sua simplicidade ao adotar algoritmo para os infinitesimais em comparação às anotações das fluxões.

A concepção infinitesimal de Newton foi a de um físico ou mecânico em que as curvas são criadas pelo movimento de pontos e suas derivadas tratadas como velocidades; o Cálculo serviria para lidar com problemas físicos, para resolver questões abordadas no *Principia*. Escreveu Newton:

> Não considero as grandezas matemáticas como formadas de partes ainda que muito pequenas, mas como descritas de um movimento contínuo. As linhas são descritas e geradas não pela justaposição de suas partes, mas pelo movimento contínuo dos pontos, as superfícies pelo movimento das linhas, os sólidos pelo movimento das superfícies, os ângulos pela rotação dos lados, o tempo por um fluxo contínuo. Considerando assim que as grandezas que crescem em tempos iguais são maiores ou menores segundo elas cresçam com uma velocidade maior ou menor, procurei um método para determinar as grandezas pela velocidade dos movimentos ou crescimento que os gera. Denominando 'fluxões' (fluxos) as velocidades desses movimentos ou crescimentos, enquanto as grandezas seriam chamadas de 'fluentes', criei, pelos anos 1665/66, o método das fluxões que usarei nas quadraturas das curvas[111].

[110] GARBI, Gilberto G. *A Rainha das Ciências.*
[111] PIETRI, Luce; VENARD, Marc. *Le Monde et son Histoire.*

A fluxão de Newton é o que se chama hoje em dia de derivada. O método de Newton é, assim, um processo de natureza geométrico-mecânica, em que as grandezas matemáticas são concebidas como engendradas por movimentos de velocidades variáveis à medida que o tempo flui contínua e uniformemente.

O grande propósito de Leibniz era criar um sistema científico de conhecimento, para o qual precisava estabelecer uma linguagem científica universal. Nesse sentido, interessou-se na formulação de um cálculo de raciocínio que pudesse facilitar suas pesquisas, inclusive sobre movimento e mudança. O método de Leibniz, influenciado pela Geometria de Descartes, Huygens e Pascal, é o do filósofo racionalista e dedutivo[112]. A abordagem foi, assim, geométrica, em termos do triângulo característico (dx, dy, ds), que já tinha aparecido em outros escritos, especialmente em Pascal e Barrow (*Geometrical Lectures*). A apresentação do Cálculo diferencial (1684) continha os novos símbolos dx e dy, as regras de diferenciação (inclusive d(uv) = udv+vdu) e o diferencial para o quociente com a condição dy = 0 para valores extremos e $d^2y=0$ para pontos de inflexão. No trabalho sobre o Cálculo integral (1686) Leibniz apresentou o símbolo ς[113]. A forma dada por Leibniz ao seu Cálculo preponderaria sobre a de Newton: achar tangente exigia o uso do *calculus differentialis* e achar as quadraturas o *calculus integralis*, expressões das quais resultaram as que se usam atualmente.

Em carta a Huygens, escreveu Leibniz: "o que mais me agrada em meu Cálculo é que ele nos proporciona as mesmas vantagens sobre a Geometria de Arquimedes (que resolvia geometricamente os problemas de quadratura) que os trabalhos de Viète e de Descartes nos deram em relação à Geometria de Euclides e de Apolônio, nos dispensando de trabalhar com a imaginação" (citado por Horta Barbosa).

O já mencionado Ronan explica assim a diferença de apresentação dos dois métodos de Cálculo:

> a fim de indicar o fato de estar considerando a taxa de mudança de uma variável – a quantidade x, por exemplo, Newton escreveu o x com um ponto sobre ele; por outro lado, Leibniz usaria "dx/dt" para expressar a mesma situação. Ora, "x" não indica o que está acontecendo, enquanto o "dx" o faz. O par de letras "dx" significa um incremento infinitesimal de tempo de "x", enquanto o par "dt" indica um incremento infinitesimal de tempo; assim a expressão "dx/dt" indica claramente que há incrementos infinitesimais de

[112] COLEÇÃO Os Pensadores – *Leibniz.*
[113] STRUIK, Dirk. *História Concisa das Matemáticas.*

"x" considerados em relação a incrementos infinitesimais de tempo "t"; em outros termos, temos uma taxa de variação de "x" em relação ao tempo.

Em 1687, os irmãos Jakob (1655-1705) e Johann Bernoulli (1667-1748), primeiros representantes da ilustre família suíça de matemáticos, se juntaram a Leibniz para aperfeiçoar e divulgar o Cálculo, contribuindo, inclusive, para a inclusão dos termos Cálculo diferencial, Cálculo integral, função, coordenada, osculação, além dos sinais = para igualdade e x para multiplicação, conforme esclareceu o citado Struik. Johann Bernoulli ensinou Cálculo ao Marquês de L'Hôpital (1661-1704) que, em 1692, publicaria o primeiro texto sobre Cálculo diferencial: *Analyse des Infiniment Petits pour l'Intelligence des Lignes Courbes*.

6.5.5 Teoria das Probabilidades

Blaise Pascal (1623-1662) e Pierre de Fermat (1601-1665) foram, juntos, os fundadores da Teoria Matemática das Probabilidades. O assunto, de interesse, por exemplo, das companhias de seguro e das Bolsas, foi, na realidade, suscitado a Pascal por um jogador profissional, Antoine Gombaud, Cavaleiro de Méré, em relação a um tipo de jogo de dados, muito popular na época e chamado de pontos. A questão de se conhecer a probabilidade de ocorrer um determinado resultado num jogo de azar (dados, cartas, etc.) tivera sempre um tratamento intuitivo, em que a probabilidade era definida pela experiência e pela intuição do jogador. Pascal considerou ser o problema de fácil solução, definindo-se, primeiro e rigorosamente, todos os resultados possíveis do jogo e estabelecendo-se para cada um uma probabilidade[114]. Fermat se interessara anteriormente pelo tema, ao procurar calcular o número de vezes que uma determinada face do dado ficaria voltada para cima em determinado número de lançamentos.

Por iniciativa de Blaise Pascal, estabeleceu-se uma colaboração entre os dois matemáticos, que os levou a estudar, também, outras questões mais complexas e sofisticadas, relacionadas com a probabilidade, objetivando descobrir as leis matemáticas que descreveriam as leis do acaso. Na troca de correspondência, alguns fundamentos da Teoria das Probabilidades e da Análise Combinatória foram explicitados em 1654. Huygens, com acesso às cartas de Pascal-Fermat, ampliaria e aperfeiçoaria o trabalho dos dois matemáticos franceses e divulgaria suas conclusões no *De Ratiociniis in Ludo Aleae*, de 1657, o primeiro tratado sobre Probabilidades. Johann de Witt, em 1671, e Halley, em 1693, dariam o passo seguinte,

[114] SINGH, Simon. *O Último Teorema de Fermat.*

aplicando a teoria às Ciências Sociais, como na construção de tabelas de anuidade sobre taxa de mortalidade e natalidade. Abraham de Moivre (1667-1754), pioneiro no desenvolvimento da Trigonometria Analítica, deve ser lembrado ao escrever, em 1718, a *Doutrina das Chances* e *Miscellanea Analytica*, em 1730, acerca da Teoria das Probabilidades. Leonhard Euler, Lagrange, Condorcet e Laplace estudariam, no século XVIII, o tema.

6.5.6 Teoria dos Números

A publicação em 1621 da primeira edição greco-latina da *Arithmetica* de Diofanto por Bachet de Méziriac, com seus comentários, teria um impacto imediato nos meios matemáticos da época, despertando inclusive o interesse de Fermat pela Matemática. Registre-se o interesse de Bachet pelo assunto ao escrever uma compilação de problemas intitulada *Problèmes plaisans et délectables qui se font par les nombres*[115].

Interessado no estudo dos números, Diofanto, que escreveu *Arithmetica* em 13 livros, dos quais apenas seis chegaram até nós, comentou sobre a Aritmética de Pitágoras, Euclides e outros, e apresentou uma série de problemas (mais de 100), com as respectivas e detalhadas soluções, expandindo, assim, o estágio em que se encontrava o estudo dos números na Grécia. Nos séculos que se seguiram, pouca atenção foi dada ao assunto, mesmo após a introdução no século XI dos algarismos arábicos na Europa.

A primeira grande contribuição à Teoria dos Números nos tempos modernos seria de Pierre de Fermat, um dos mais reputados matemáticos do século XVII, que ficara obcecado em entender a relação entre os números.

Ao longo da leitura da *Arithmetica*, Fermat anotava, nas margens das páginas do livro, suas observações e conjecturas, chamando-as erroneamente de teoremas, pois, ao se limitar a enunciá-las sem demonstrá-las, não se tratava na realidade de teoremas, mas de conjecturas. O trabalho ficou desconhecido até 1670 quando seu filho, Clément-Samuel, publicou *Aritmética de Diofanto com observações de Pierre de Fermat*, na qual consta um grande número de teoremas, comentários e proposições.

Dentre as várias contribuições de Fermat à Teoria dos Números, bastaria citar as seguintes: a) a descoberta de um par de números amigáveis (no qual um deles é a soma dos divisores do outro). Os pitagóricos tinham descoberto o 220 e 284, e Fermat descobriu, em 1636, o par 17.296 e 18.416; Descartes descobriria um terceiro par (9.363.584 e 9.437.056); e Euler encontraria, no século XVIII, um total de 62 pares amigáveis. O jovem

115 SINGH, Simon. *O Último Teorema de Fermat.*

italiano Niccolò Paganini no século XIX (1866) descobriria o par 1184 e 1210; b) a descoberta de que o único número entre um quadrado e um cubo é o 26 (entre $25=5^2$ e $27=3^3$); c) a formulação do teorema dos números primos, pelo qual todo número de forma 4n+1 (como 4x3+1=13) é sempre a soma de dois quadrados ($13=2^2+3^2$), seria comprovada por Euler em 1749; d) nenhum triângulo retângulo em números inteiros tem por área um quadrado; e e) o método da descida infinita, técnica especificamente aritmética.

Seu mais célebre teorema é conhecido como o último teorema de Fermat, porque todas os demais já haviam sido demonstrados, exceto este que declara que "para a equação $X^n + Y^n = Z^n$ (elevados a n potências superior a 2) não há solução para qualquer número inteiro", ou seja, a impossibilidade de encontrar dois números elevados a uma potência superior a 2 que, somados, produzam outro número elevado a essa mesma potência (como em $X^3+Y^3=Z^3$, $X^4+Y^4=Z^4$, ...). Todas as tentativas para demonstrá-lo fracassaram até 1995, quando o americano Andrew Wiles apresentou sofisticado trabalho comprovando a verdade do famoso teorema de Fermat.

No campo da Teoria dos Números, deve ser lembrada a contribuição do teólogo e frade franciscano Marin Mersenne com sua descoberta em 1644 dos chamados números Mersenne. Apesar de representarem apenas alguns números primos, os números Mersenne, que significaram um avanço na Moderna Teoria dos Números, derivam da fórmula $2^p - 1$, no qual "p" é um número primo. Mersenne também investigou as curvas cicloides.

6.5.7 Geometria Projetiva

Diferente da Geometria analítica, um método inventado por Descartes e Fermat, a Geometria Projetiva é um ramo da Geometria, cujo objetivo é o estudo das propriedades projetivas, ou seja, as que não se alteram através das projeções e das secções. O arquiteto, engenheiro militar e matemático francês Girard Desargues (1591-1661) foi pioneiro nesses estudos em sua obra *Brouillon project d'une atteinte aux événements des rencontres d'une cône avec un plan* (1639), obra que não teve muita repercussão em sua época, devido à utilização de termos pouco apropriados, em vez do simbolismo cartesiano[116]. Pascal e Philippe de la Hire (1640-1718) seriam seus principais seguidores. O texto completo do *Brouillon* se perdeu, sendo reencontrado e reeditado em 1845. A Geometria Projetiva só seria sistematizada, contudo, no século XIX, a partir dos trabalhos de Poncelet, Möbius, Steiner e Chasles.

[116] TATON, René. *La Science Moderne.*

6.5.8 Contribuições Diversas

Outros renomados e importantes matemáticos aportaram significativas contribuições[117] para o desenvolvimento da Matemática em diversos campos no século XVII. Alguns desses nomes e obras devem ser aqui lembrados:

i) Thomas Harriot (1560-1621), que escreveu *Artis Analyticae Praxis and Aequationes Algebraicas Resolvenda*, (publicação póstuma em 1631) no qual aperfeiçoou a Teoria das equações, estabelecendo uma importante relação entre coeficiente e raízes. Introduziu os sinais: > (maior que) e < (menor que) e dedicou-se, também, à Astronomia, estudando cometas, manchas solares e movimento das luas de Júpiter. Teria, igualmente, descoberta a lei da refração antes de Willebrord Snell, mas não publicou seus estudos a esse respeito;

ii) William Oughtred (1574-1660), clérigo, foi professor de John Wallis, Chistopher Wren e Richard Dalemain; escreveu sua principal obra *Clavis Mathematicae* (1631), com as frações decimais em notações hindus e arábicas. Utilizou o X como símbolo da multiplicação; os quatro pontos, formando um quadrado, para as proporções; e o símbolo da diferença (-). Inventou a régua de cálculo (1631), descrevendo-a em *Circles of Proportion and the Horizontal Instrument*. Note-se que Delamain, em 1630, teria inventado, independentemente, a régua, conforme sua obra *The Mathematical Ring*. A presente forma da régua de cálculo foi desenvolvida pelo oficial do Exército francês Amadée Manheim, em 1850. Oughtred escreveu ainda *Trigonometria*, em 1657[118];

iii) o holandês Willebrord Snell (1591-1626), professor na Universidade de Leiden, criou um método, utilizado até hoje, para determinar distâncias por meio de triangulação trigonométrica, tendo sido dos primeiros a investigar as propriedades dos triângulos esféricos polares. Sua principal atividade foi na Óptica, tendo descoberto a lei da refração;

iv) o italiano Evangelista Torricelli (1608-1647), discípulo de Galileu, escreveu sobre quadratura da cicloide e do cone, a retificação da espiral logarítmica, e determinou, ainda, o ponto

[117] TATON, René. *La Science Moderne.*
[118] GARBI, Gilberto G. *A Rainha das Ciências.*

isogônico do triângulo[119]. Torricelli é mais conhecido por seus trabalhos no campo da Física (teoria do barômetro, o valor da aceleração da gravidade, a teoria dos projéteis e o movimento dos fluidos);

v) John Wallis (1616-1703) foi um dos precursores do cálculo infinitesimal com seu livro *Arithmetica Infinitorum* (1656). Escreveu ainda um *Tratado sobre Secções Cônicas* também em 1656 e um *Tratado de Álgebra*. Foi o introdutor do atual símbolo do infinito (∞). Sustentou célebre controvérsia com Hobbes sobre método para calcular área de um círculo e foi um dos fundadores da Sociedade Real de Londres;

vi) o dinamarquês Erasmus Bartholin (1625-1698), professor de Matemática em Copenhague, estudou a Teoria das equações e no campo da Física descobriu a dupla refração em 1669;

vii) Pietro Mengoli (1625-1686), sacerdote, publicou em 1672 o *Il Problema della Quadratura del Circolo*, no qual usou séries infinitas;

viii) Isaac Barrow (1630-1677), primeiro professor da cátedra de Matemática de Cambridge, posto que renunciou em 1669 e foi sucedido por Isaac Newton, escreveu *Lectiones Opticae,* em 1669; *Lectiones Geometricae,* em 1670; e *Lectiones Mathematicae* (publicado postumamente em 1685);

ix) Christopher Wren (1632-1723), célebre arquiteto e professor de Astronomia em Oxford, encontrou, em 1658, o comprimento de um arco de cicloide pelo método de exaustão;

x) James Gregory (1638-1675), precoce matemático e astrônomo escocês, escreveu *Vera Circuli et Hyperbolae quadratura* (1667), *Exercitationes Geometricae* (1668) e *Geometricae pars Universalis* (1668), que revelam sua grande originalidade no tratamento de processos infinitos, pelo que é reputado como um dos pioneiros do Cálculo infinitesimal. Encontrou a série binomial e, em 1671, a série conhecida como de Taylor;

xi) o dinamarquês Georg Mohr (1640-1697) em seu *Euclides danicus* (1672) mostrou que toda construção ponto a ponto (todo o problema plano) que possa ser realizada com régua e compasso podia ser feita apenas com o compasso. Tal descoberta em Geometria viria a ser conhecida como de Lorenzo Mascheroni (1750-1800), autor de *Geometria do Compasso* (1797);

[119] EVES, Howard. *Introdução à História da Matemática.*

xii) o francês Philippe de la Hire (1640-1718), astrônomo e matemático, discípulo de Desargues, escreveu em Geometria Projetiva *Nouvelle Methode em Géométrie pour les Sections de Superfícies Coniques et Cylindriques*, em 1673, e as *Secções Cônicas*, em 1675;

xiii) Ehrenfried Walther von Tschirnhausen (1651-1708) estudou as curvas e a Teoria das equações, tendo, em 1682, introduzido e estudado as curvas catacáusticas, as envoltórias de raios de luz, emitidos de uma fonte pontual, após se refletirem numa curva dada;

xiv) Pierre Varignon (1654-1722), divulgador do Cálculo diferencial na França, sendo a Mecânica sua principal atividade científica; e

xv) Brook Taylor (1685-1731) publicou, em 1715, *Methodus Incrementorum* em que apresentou sua famosa série de Taylor, base do Cálculo diferencial.

No desenvolvimento da Matemática no século XVII, não devem ser esquecidos os nomes dos astrônomos e físicos Galileu, professor de Matemática, e grande defensor da matematização dos fenômenos físicos, autor de *Os Dois Principais Sistemas* (1632) e *As Duas Novas Ciências* (1638), e de Johannes Kepler, autor de *Stereometria doliorum* sobre a medida do volume de barris (1615).

6.6 Astronomia

Os avanços na Matemática e na Mecânica e o progresso tecnológico (invenção do telescópio refrator, ou luneta, em 1608) permitiriam um extraordinário desenvolvimento, desde o início do século XVII, do conhecimento astronômico e cosmológico. Na realidade, a Astronomia foi o ramo da Ciência que mais se desenvolveu no período, devido à sua base matemática e observacional. A enorme distância que separa, do ponto de vista de conhecimento cosmológico e astronômico, a época da Astronomia Nova (1609) de Kepler e das descobertas de Galileu no *Siderius Nuncius* (1610) da de Newton com sua obra *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* (1687) atesta o extraordinário progresso desse ramo das Ciências Exatas, como, aliás, também da Matemática e da Mecânica, no curto espaço de tempo inferior a 80 anos.

A Astronomia do século XVII, dado seu grande desenvolvimento observacional e conceitual, pode ser examinada, para fins expositivos, em três períodos: o primeiro, marcado pelas obras de Kepler e de Galileu,

de confirmação do sistema heliocêntrico, o segundo, com os avanços na Astronomia de observação, e o terceiro, dominado por Newton, que encerra o ciclo iniciado por Copérnico e inaugura uma nova etapa da Astronomia com a criação da Mecânica Celeste.

Do primeiro período, fundamental na comprovação e aperfeiçoamento do modelo heliocêntrico de Copérnico e na consequente refutação do geocentrismo, as obras mais significativas foram as de Kepler: *De Stella Nova* (com as duas primeiras leis do movimento planetário), de 1609; a *Dissertatio cum Nuncio Sidereo*, de 1610; a *Dioptrice,* de 1611; a *Narratio de Jovis Satellibus,* de 1611; a *Harmonice Mundi* (com a terceira lei do movimento), de 1619; a *Epitome Astronominae Copernicanae,* de 1618/21; e as *Tabelas Rodolfinas,* de 1627; e as obras de Galileu, *Siderius Nuncius;* de 1610, *Istoria i demostrazione intorno alle macchie Solari,* de 1613; *Dialogo sopra i due massimi sistemi del mondo, ptolomaico i copernicano,* de 1632; e *Discorsi i demostrazione matematiche intorno a due nuove scienze,* de 1638.

O segundo período pode ser situado entre 1640 e 1680, quando houve uma série de importantes observações astronômicas, graças, em parte, ao desenvolvimento técnico e difusão dos instrumentos de precisão. O interesse despertado pela Astronomia incentivaria a construção de observatórios, com vistas a uma maior precisão nas medidas astronômicas e a possibilitar observações celestes que permitissem aos marinheiros encontrar sua longitude no mar. O primeiro observatório dotado de telescópio seria o de Paris (1671), seguido imediatamente pelo de Greenwich, perto de Londres, em 1676.

Em meados do século, Descartes publicaria sua concepção da formação do Mundo, que teria imensa repercussão, mas que não obteria apoio suficiente no meio intelectual e seria alvo de sérias objeções da parte de muitos astrônomos e de rejeição pela Igreja; importante assinalar, contudo, a fundamentação da teoria em leis mecânicas, as quais seriam retomadas por Newton. Informação sobre essa concepção de Descartes é apresentada, por considerações cronológicas, neste segundo período do desenvolvimento da Astronomia no século XVII.

Do terceiro período, a figura mais importante foi a de Newton que, em sua obra *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* (1687), exporia, em substituição à Cosmologia de Ptolomeu e à Física de Aristóteles, até então aceitas, uma nova Cosmologia, alicerçada em bases matemáticas e fundamentada numa Física aplicável a todo o Universo. Desenvolvendo um novo método de Cálculo (infinitesimal ou de fluxões), Newton foi capaz de formular as três leis do movimento e a lei da gravitação, de definir os conceitos de inércia, massa e quantidade de movimento, de introduzir a ideia de força, de adotar os conceitos de espaço e tempo

absolutos. Apoiado nos trabalhos e descobertas de Galileu e de Kepler e no mecanicismo cartesiano, deu Newton, assim, uma nova dimensão à Mecânica e estabeleceu a Mecânica Celeste.

Ainda nesse terceiro período, Newton construiu o telescópio refletor, em que a objetiva é um espelho côncavo, seguindo a orientação teórica do matemático escocês James Gregory. O novo telescópio, que suprimia a aberração cromática das lunetas (telescópio refrator), significou um avanço tecnológico, mas apresentava o defeito de deformar as imagens por aberração esférica, o que foi eliminado em 1720 por John Hadley[120].

Além desses três maiores expoentes da evolução da Astronomia no século XVII, um grande número de astrônomos e físicos contribuiria de forma significativa para o extraordinário progresso do conhecimento astronômico. As contribuições científicas de Johannes Bayer, Christopher Scheiner, Nicolas Pereisc, Johannes Fabricius, Giovanni Ricciolli, Gian Borelli, Johannes Hevelius, Jeremiah Horrocks, Jean Picard, Giovanni Cassini, Robert Hooke, Christiaan Huygens, Olaf Römer e Edmond Halley serão oportunamente registradas.

6.6.1 Primeiro Período – Kepler – Galileu

Tarefa árdua seria para os copernicanos comprovar a correção do sistema heliocêntrico, uma vez que uma série de indagações e dúvidas persistia ainda no meio intelectual no início do século XVII. Sem um conhecimento exato do movimento planetário, inerente ao sistema, tornava-se difícil a aceitação generalizada da teoria copernicana. Em consequência, o desenvolvimento da Astronomia heliostática envolveria quatro passos principais[121]: o da rejeição do preconceito contra qualquer movimento da Terra; o da revisão das teorias físicas, a fim de aceitar o fato de a teoria de Copérnico provir de fenômenos mecânicos terrestres; o do enriquecimento do conhecimento pela observação qualitativa; e o de novos dados, fornecidos pela observação quantitativa, para a reavaliação das órbitas planetárias, de forma a abandonar o movimento circular e a formular novas leis matemáticas. A realização desses quatro passos se estendeu até cerca de 1640, enquanto sua assimilação, inclusive o reconhecimento gradual das leis do movimento planetário, ocuparia outra geração.

Os estudos e as descobertas de Kepler e de Galileu foram decisivos para a comprovação matemática e observacional do sistema heliocêntrico e da formulação dos princípios que governam o movimento planetário.

---

[120] MOURÃO, Rogério. *O Universo.*
[121] HALL, A. Ruppert. *A Revolução na Ciência – 1500-1750.*

A vida e a obra de Johannes Kepler (1571-1630) estão muito bem documentadas, graças à sua obsessão por números e precisão de dados. Todo o árduo, complexo e longo processo de pesquisa está escrupulosamente relatado em suas obras, com riqueza de pormenores, inclusive os erros e pistas falsas. Dessa forma, são bem conhecidos tanto os objetivos e os fundamentos de sua concepção cosmológica, quanto seu trabalho matemático até a descoberta dos princípios (leis) do movimento planetário.

Kepler provinha de uma família de poucas posses. Beneficiando-se do programa educacional dos Duques de Würtemberg, inscreveu-se, com direito a uma das bolsas de estudos concedidas a filhos pobres e fiéis, na escola elementar de Leonbeg (1578); depois entrou para a Escola de gramática de Adelberg (1584) e foi admitido, em 1586, no seminário de Maulbronn. Em 1589, ingressou na Universidade de Tubingen, na qaul foi aluno de Michael Mästlin, copernicano confesso, que seguramente despertou o interesse de seu aluno para a Astronomia e para a teoria heliocêntrica. Tendo aprendido Ética, Dialética, latim, grego, hebraico, Física, Matemática e Astronomia, recebeu Kepler o diploma de mestre de artes em 1591, obtendo o direito de se consagrar à Teologia. A vacância do posto de matemático da Estíria alteraria tais planos. Consultada, a Universidade de Tübingen sugeriu o nome de Kepler para titular da cadeira da Stiftsschule de Graz, na qual daria sua aula inaugural em maio de 1594. Para atrair a atenção de seus alunos para a Astronomia, Kepler passou a dar também noções de Astrologia, tema que o fascinava e era muito popular[122].

Por essa época, já estava Kepler convencido das vantagens matemáticas do sistema de Copérnico sobre o de Ptolomeu. Profundamente religioso e místico, estava persuadido, porém, de que todos os elementos móveis do Mundo deveriam estar em harmonia com algum segredo divino, como todos os elementos imóveis com a Santíssima Trindade. Ainda jovem, inexperiente e com poucas informações matemáticas, Kepler aventurou-se em 1596 a publicar o *Mysterium Cosmographicum* (*Segredos do Mundo*), em cujo prefácio explicava seu objetivo de demonstrar que o "Criador se ateve à criação deste Mundo móvel, e à disposição dos céus, nesses cinco corpos regulares que, desde Pitágoras e Platão até nossos dias, adquiriram tão grande celebridade, e que Ele ordenou, em função de sua natureza, o número de céus, sua proporção e a relação de seus movimentos". Suas várias tentativas de determinar a distância entre os orbes planetários fracassaram, inclusive a que utilizara polígonos regulares, no caso, o triângulo, o quadrado, o pentágono, o hexágono e o heptágono. Convencido de que o Criador estabelecera o plano do Mundo sobre relações estruturais geométricas, Kepler passou da Geometria

[122] VERDET, Jean-Pierre. *Uma História da Astronomia.*

plana para a espacial, com a utilização, agora, dos únicos possíveis cinco poliedros regulares para preencher os cinco espaços que separam os seis orbes. Assim, entre a esfera de Saturno e a de Júpiter inseriu o cubo; entre a de Júpiter e a de Marte, o tetraedro; entre a de Marte e a da Terra, o dodecaedro; entre a da Terra e a de Vênus, o icosaedro; e entre a de Vênus e a de Mercúrio, o octaedro[123]. A felicidade de Kepler foi total ao verificar a concordância, se não perfeita, ao menos aceitável, entre os raios sucessivos das esferas inscritas e circunscritas aos poliedros regulares, tomados nessa ordem, e as distâncias relativas dos planetas ao Sol no sistema de Copérnico.

Tratava-se, pois, de uma obra de pura metafísica, sem valor científico. Caberia assinalar, desde já, a extraordinária evolução que ocorreria, em pouco tempo, no trabalho científico de Kepler a partir de sua colaboração com Tycho Brahe. Para comentários, Kepler enviaria sua obra a famosos matemáticos, como Galileu, Tycho, Ursus, Linneu e outros. Se Galileu limitou-se a acusar recebimento do livro, sem comentar seu conteúdo, Tycho, interessado em futura colaboração de Kepler, enviou-lhe resposta, na qual o aconselhava a abandonar a especulação *a priori* para se dedicar à observação, e, dado esse passo, apenas então deveria tratar das causas. Nessa carta, Tycho convidou Kepler a ser seu colaborador. A mudança de Kepler foi rápida e extraordinária, fácil de se detectar quando comparado o livro de 1596 com a *Astronomia Nova* de 1609, na qual apresentou dois (de seus três) princípios do movimento planetário.

O encontro dos dois se deu em fevereiro de 1600, em Bernadek, para onde se mudara Tycho. A tarefa do novo colaborador era entender e explicar a órbita de Marte, a mais excêntrica, que não pudera ser elucidada por Tycho, e seu principal assistente, Longomontanus, nos estudos datados de 1577, 1582 e 1586 e que fora verificada por observação de dez oposições sucessivas entre 1580 e 1600. Diante das discrepâncias entre a latitude calculada e a verificada, Kepler procurou de início determinar a inclinação da órbita em relação à elíptica. Ao contrário de seus antecessores (Ptolomeu, Copérnico e Tycho), tomaria Kepler o Sol verdadeiro, ou o corpo do Sol, como o ponto comum a todas as órbitas. A inclinação, constante, encontrada foi de 1°50′, enquanto o valor atual é de 1°51′. Baseado ainda nas tabelas de Tycho, calculou as sucessivas posições de Marte, procurando assimilá-las a um círculo, movimento aceito, sem discussão, por todos, inclusive Copérnico, Galileu, Tycho e Kepler. Apesar de seus esforços e da constante repetição dos cálculos persistiam

[123] TATON, René. *La Science Moderne.*

discrepâncias de até 8′ (oito minutos) de arco entre as observações de Tycho e seus cálculos. Esse erro de ângulo de 8 minutos era bastante aceito em sua época.

Convencido de que se o movimento de Marte fosse circular, o planeta não poderia estar onde se encontrava e confiante na exatidão das tabelas de Tycho, teve Kepler a coragem de desistir da trajetória circular, começando, então, a experimentar várias trajetórias ovais, chegando, por fim, à elipse, cujas propriedades já haviam sido estudadas por Apolônio[124]. Numa elipse, que contém dois eixos, existem no eixo maior dois pontos chamados focos, situados à igual distância do centro. A propriedade do foco é a de que se a partir de cada foco for traçada uma linha reta, cujo ponto de intersecção se situa sobre a elipse, a soma dos comprimentos das duas retas é igual ao comprimento do eixo maior. Essa propriedade independe do ponto escolhido sobre a superfície da elipse. Em 1609, ao estudar a órbita de Marte, descobriu Kepler, como escreveu o já citado Verdet,

> uma relação notável entre a lúnula (espaço que separa a órbita do planeta do círculo excêntrico de sua teoria) e o ângulo óptico (ângulo das retas que unem o planeta ao centro do excêntrico e ao Sol): o excesso da secante desse ângulo (100.429) sobre o raio do excêntrico (100.000) é igual à espessura da lúnula (429). Essa coincidência... o conduziu à formulação da relação entre essas duas variáveis. Ora, essa relação define uma elipse...

Estava, assim, descoberto o primeiro princípio do movimento planetário: Marte descrevia órbita elíptica, da qual um dos focos é ocupado pelo Sol.

Verificando que no periélio (ponto de menor afastamento do Sol) a velocidade angular do planeta é máxima, decrescendo depois para chegar a um mínimo no afélio (ponto da órbita em que a distância do Sol é máxima), pôde Kepler demonstrar serem iguais as áreas varridas, em tempos iguais, pelo raio do vetor que liga o centro do planeta ao do Sol; ou, em outras palavras, uma linha que une o planeta ao Sol descreve áreas iguais em períodos de tempo iguais, durante a revolução do planeta. Tal descoberta, que corresponde ao seu segundo princípio do movimento planetário, significa que quanto mais perto do Sol, mais rápida a velocidade do planeta.

Ainda em 1609, o resultado de sua investigação seria publicado, em Heidelberg, sob o título completo de *Astronomia Nova*, fundada sobre as causas ou Física celeste, exposta em comentários sobre os movimentos da estrela

[124] BARBOSA, Luiz Hildebrando Horta. *História da Ciência.*

Marte de acordo com as observações de Tycho Brahe. Na obra, aparecem as descobertas fundamentais de Kepler dos dois primeiros princípios, hoje, conhecidos como leis do movimento planetário (1ª Lei – A órbita de cada planeta ao redor do Sol é uma elipse, situando-se o Sol num dos seus focos; e 2ª Lei – O raio vetor de um planeta varre áreas iguais em tempos iguais), além de considerações do autor sobre as marés e a gravidade.

O trabalho de Kepler se referia, na verdade, ao planeta Marte e à sua órbita elíptica. Após examinar todas as observações de Tycho, ficou-lhe evidente que os outros planetas se comportavam da mesma forma. Entre 1618 e 1621, publicaria Kepler seu *Epítome da Astronomia Copernicana*, em três partes, no qual estendeu aos demais planetas o movimento elíptico e velocidades variáveis, conforme seus dois primeiros princípios de 1609[125].

Quatro outras obras de Kepler dessa fase devem ser mencionadas: a *De Stella Nova*, de 1606, sobre a supernova que aparecera no céu em setembro de 1604; a *Dissertatio cum Siderio Nuncio*, de 1610, sobre o *Mensageiro Celeste* de Galileu; a *Dioptrice,* de 1611, na qual descreveu um telescópio aperfeiçoado com a substituição das duas lentes, uma convexa e outra côncava, por duas convexas; e a *Narratio de Jovis Satellibus,* de 1611, na qual estudou as luas (descobertas por Galileu) de Júpiter, adotando, por primeira vez, o vocábulo satélite[126].

Ao mesmo tempo em que se dedicava Kepler, em Praga, a suas verificações astronômicas, o físico e matemático italiano Galileu, em Pádua, observou a supernova de 1604, visível a olho nu por alguns meses. Na impossibilidade de medir sua paralaxe, Galileu a considerou, corretamente, um fenômeno celeste, ou seja, que ocorria no Mundo supralunar, o que demonstraria o erro da opinião de Aristóteles sobre a imutabilidade do céu.

Ao saber da invenção da luneta, ou telescópio refrator, em junho de 1609, interessou-se Galileu imediatamente pelo novo instrumento, construindo um mais potente (potência 20) com o qual (potência 8) fora presenteado o Doge de Veneza. Galileu seria o primeiro a utilizar o telescópio para observações astronômicas, as quais começaram em novembro daquele mesmo ano. Em praticamente três meses, Galileu fez extraordinárias e numerosas descobertas:

- em 30 de novembro, observou e desenhou a Lua quatro dias depois da Lua Nova; continuou a observá-la até que ela se pôs, e fez outro desenho dela; essa foi sua primeira descoberta telescópica, a progressão do nascer do Sol;

[125] VERDET, Jean-Pierre. *Uma História da Astronomia.*
[126] PANNEKOEK, Anton. *A History of Astronomy.*

- nos dias 2, 3, 17 e 18 de dezembro, voltou a observar a Lua, em particular o contorno do Mar da Serenidade e a cratera do Albatergnius;
- de 19 de dezembro a 6 de janeiro de 1610, observou as estrelas e a Via Láctea. Descobriu, então, 90 estrelas na constelação de Orion e 36 nas Plêiades; a Via Láctea, tida como uma emanação da atmosfera terrestre, seria uma massa de inúmeras estrelas reunidas em cachos; e
- em 7 de janeiro, observou o planeta Júpiter e percebeu que estava acompanhado de três estrelas. No dia seguinte, constatou que as estrelas seguiam o planeta e, no dia 9, comprovaria suas observações anteriores. No dia 14, descobriu a quarta lua do planeta. A essas quatro luas Galileu chamaria de astros mediceus, em homenagem à importante família florentina.

No dia 16 de janeiro, começou Galileu a escrever *Siderius Nuncius* (*Mensageiro Celeste*), mas continuou suas observações telescópicas até 2 de março. No dia 12 de março, o livro estava pronto e, no dia 19, enviou um exemplar para Cosme II de Medicis.

A repercussão das descobertas galileanas foi imediata, gerando controvérsias, pois muitos não acreditavam nas evidências observadas[127]. Kepler, contudo, leu o livro e manifestou admiração pelo autor, interessou-se por obter um exemplar da obra, pediu um telescópio, mas lamentou não ter Galileu mencionado Copérnico, Bruno e diversos alemães que tinham aberto o caminho para suas descobertas. Kepler imediatamente escreveu um pequeno comentário de 20 páginas, *Dissertatio cum Siderius Nuncius* (*Conversação com o Mensageiro Celeste*), no qual elogiava o trabalho de Galileu e ressaltava a importância do telescópio, apoio importante num momento de críticas, suspeitas e descrenças à obra. Galileu, que não respondera a uma primeira abertura de Kepler, por ocasião do envio, em 1596, do *Mysterium Cosmographicae*, só se pronunciaria após uma carta de 9 de agosto, na qual Kepler reiterava seu pedido de telescópio. Em sua resposta de 18 de agosto, Galileu agradeceu o apoio, explicou não poder mandar-lhe um telescópio e não o informou sobre sua descoberta do anel de Saturno[128].

Pouco depois, em setembro, Galileu realizou outra importante descoberta, a das fases de Vênus, semelhantes às lunares, de cheia até

[127] TATON, René. *La Science Moderne.*
[128] VERDET, Jean-Pierre. *Uma História da Astronomia.*

crescente, modificações cíclicas que confirmariam o sistema de Copérnico. Segundo a teoria ptolomaica, Vênus deveria aparecer sempre sob a forma de crescente. Dada a posição entre o Sol e a Terra, Copérnico deduziu que Mercúrio e Vênus deveriam ter fases completas como a Lua, enquanto Marte teria fases parciais. A descoberta de Galileu provou, também, que o brilho dos planetas se devia à reflexão da luz solar. Por essa mesma época, Kepler, munido de telescópio, observaria as luas de Júpiter e as chamaria de satélites. A esse respeito, publicaria em 1611 o *Narratio Jovis Satellibus*. Acrescente-se a esse respeito que Kepler, nesse ano, aperfeiçoou o telescópio refrator de uma lente côncava e outra convexa por um de duas lentes convexas.

O relacionamento dos dois astrônomos, por causa da atitude de Galileu, foi extremamente limitado e formal. Apesar de compartilhar com Kepler a fé no heliocentrismo, "as justificativas metafísicas, astrológicas e musicais da estrutura poliédrica do Mundo só o faziam pôr-se em guarda contra um espírito tão distante do seu"[129]. Essa diferença entre ambos explica a pouca importância dada por Galileu à *Astronomia Nova*, não tendo nunca aceitado os três princípios do movimento planetário de Kepler.

Após as descobertas das fases de Vênus, Galileu teria sido, em setembro-outubro de 1611, o primeiro a observar as manchas solares. Em fins desse mesmo ano, apareceram evidências de que outros alegavam ter, igualmente, observado, pouco antes, as manchas solares. O jesuíta Christopher Scheiner (1575-1650) teria observado tais manchas em maio de 1611, mas julgara serem pequenos planetas, e o matemático inglês Thomas Harriot (1560-1621), em Oxford, que estudara os cometas, construíra telescópios, preparara mapas da Lua e alegara ter observado manchas no Sol e as luas de Júpiter antes de Galileu[130], bem como o próprio Kepler em 1607, mas que pensara tratar-se da passagem de Mercúrio diante do Sol. O holandês Johann Fabricius (1587-1615), em Wittemberg, escreveu um opúsculo em junho de 1611, publicado em setembro, sobre o assunto. O livro de Galileu só seria publicado em 1613 com o título *Istoria i demostrazione intorno alle macchie solari*, no qual corretamente colocava as manchas na superfície solar e incluiria, ademais, pela primeira vez por escrito, suas convicções heliocêntricas. Muitos autores sustentam que a polêmica de Galileu com o jesuíta Scheiner teria sido o início e causa do antagonismo de setores da Igreja a Galileu.

Em 1610, o francês Nicolas Fabri de Peiresc (1580-1637), que fora aluno de Galileu em Pádua, descobriu a nebulosa Orion e, em 1612,

[129] VERDET, Jean-Pierre. *Uma História da Astronomia.*
[130] HALL, A. Ruppert. A *Revolução na Ciência – 1500-1750.*

o astrônomo alemão Simon Mayer (1570-1624) descobriu a nebulosa Andrômeda. Mayer alegou ainda ter observado, em 1609, as quatro luas de Júpiter, às quais, posteriormente, daria os nomes de Io, Europa, Ganímedes e Calisto, da mitologia grega.

O alemão Johann Bayer (1572-1625) preparou um catálogo de estrelas - *Uranometria* (1603), com descrição das constelações e localizou mais estrelas que Tycho, estabelecendo uma relação entre as estrelas e a constelação, que receberam letras gregas (total de 24) para classificá-las em ordem de tamanho decrescente (Alfa, Beta, Gama...). Para as constelações com mais de 24 estrelas, Bayer se utilizou de letras latinas; essa nomenclatura é usada até hoje.

Enquanto ocorriam esses desenvolvimentos da observação astronômica, deixou Kepler a cidade de Praga, em 1612, após a abdicação do Imperador Rodolfo II, seu protetor, e se transferiu para Linz, na Áustria, onde permaneceria por 14 anos. Aí, prepararia sua importante e mais extensa obra *Epítome Astronomicae Copernicanae*, publicada em três livros, entre 1618 e 1621, na qual apresentava, além de um resumo do sistema de Copérnico, uma suma dos conhecimentos astronômicos da época.

Entrementes, Kepler voltou às cogitações místico-pitágóricas, em busca da harmonia do Mundo. Esse trabalho viria a ser o *Harmonices Mundi libri V* (*Harmonia do Mundo*), publicado em Linz, em 1619, no qual retoma sua ideia de sólidos platônicos concêntricos, como no *Mysterium Cosmographicum*, 21 anos antes. O livro está dividido em cinco partes: as duas primeiras lidam com o conceito de harmonia em Matemática, e as outras três, com Música, Astrologia e Astronomia. Como escreveu Horta Barbosa,

> crente na existência de uma lei simples relacionando as distâncias médias de cada planeta ao Sol com os tempos necessários para um percurso completo de suas órbitas, dedicou Kepler, para descobri-la, nove anos de longos e penosos cálculos. Sem tábuas logarítmicas, ainda inexistentes, sem máquina de calcular e sem auxiliares, conseguiu, em 1618, demonstrar serem os quadrados dos tempos de revolução proporcionais aos cubos das distâncias médias ao Sol[131].

O que viria a ser conhecido como o terceiro princípio (terceira lei) do movimento planetário. Na construção desse novo esquema, Kepler valeu-se de seu conhecimento de que as órbitas planetárias eram elípticas, e que, em consequência, a velocidade de um planeta é muito maior quanto mais próximo ele estiver do Sol. A chave para a harmonia celeste estaria em estabelecer a razão entre os valores máximo e mínimo das

[131] BARBOSA, Luiz Hildebrando Horta. *História da Ciência.*

velocidades orbitais. Kepler comparou esses números com os obtidos nas escalas musicais, chegando a um resultado satisfatório, em que Saturno corresponderia a uma terça maior, Júpiter a uma terça menor, Marte a uma quinta, etc. Faltava-lhe ainda o problema das distâncias ao Sol. Se o Sol era o centro do sistema, deveria existir uma relação entre o período orbital do planeta e sua distância ao Sol. Após anos de cálculos, chegaria a seu terceiro princípio, de que o período orbital é proporcional ao cubo de sua distância mediana ao Sol.

As três leis (princípios) de Kepler solucionaram, de forma definitiva, o antigo problema de descobrir um sistema astronômico que salvasse as aparências e que descrevesse as reais trajetórias dos corpos celestes[132]. Newton se basearia nessas três leis para desvendar o mistério da gravitação.

Na Itália, pouco depois, Galileu publicaria seu famoso *Il Saggiatore* (*O Ensaiador*), em 1623, que seria objeto de nova controvérsia, principalmente por admitir a existência de uma multidão de corpúsculos mínimos (átomos), movidos em alta velocidade, que seriam percebidos pelo olho humano mediante o efeito do Calor[133]; na obra, defendia Galileu uma Mecânica oposta à Física aristotélica, com a lei fundadora da Dinâmica Moderna – a queda dos corpos é um movimento acelerado, em oposição à proporcionalidade das forças às velocidades. Nessa obra, Galileu apresentou, ainda, sua metodologia científica e sua famosa tese de que a Natureza está escrita em linguagem matemática, e "seus caracteres são os triângulos, os círculos e outras figuras geométricas, sem as quais é humanamente impossível compreender uma palavra...".

Apesar de todas as dificuldades financeiras, dos problemas familiares decorrentes de procurar salvar sua mãe da prisão, acusada de bruxaria, da Guerra dos Trinta Anos e da inquietação religiosa na região, Kepler continuou a estudar os movimentos dos planetas com a ajuda das tabelas logarítmicas, recém-inventadas por Napier-Briggs, e de acordo com suas três leis do movimento. Suas *Tabelas Rodolfinas* (1627), dedicadas a Napier, tornaram possível calcular e prever as posições dos planetas segundo o sistema heliocêntrico de órbitas elípticas. Pouco antes de falecer, Kepler previu, em 1629, a passagem de Mercúrio pelo Sol, em 7 de novembro de 1631, e a de Vênus, em 4 de dezembro de 1639 e 6 de junho de 1761.

Pierre Gassendi (1592-1655), prelado e filósofo francês interessado em Astronomia, que, em 1621, observou e descreveu a aurora boreal,

---

132 CROMBIE, A. C. *Historia de la Ciencia.*

133 ROSSI, Paolo. *O Nascimento da Ciência Moderna na Europa.*

acompanhou, em 1631, o trânsito previsto de Mercúrio. A passagem prevista de Vênus foi observada pelo inglês Jeremiah Horrocks (1619-1641). Por mais de um século, as *Tabelas* de Kepler seriam utilizadas pelos astrônomos, por sua confiabilidade.

Ainda que trabalhando no assunto desde 1623, somente em 1632 Galileu publicaria, em italiano, seu famoso *Dialogo sopra i due massimi sistemi del mondo, ptolomaico e copernicano*, pressupondo que a obra não causaria problemas com a Igreja. O diálogo se desenvolve entre Sagredo, Salviati e Simplício, este último um personagem fictício, em quatro jornadas: a primeira, com o objetivo de destruir a cosmologia aristotélica; a segunda trata do movimento de rotação da Terra; a terceira, do movimento de translação; e a quarta é destinada à prova física do movimento terrestre (para Galileu movimento circular uniforme). O *Dialogo* não é, na realidade, um livro de Astronomia, mas uma obra voltada para provar serem insustentáveis a Cosmologia e a Física de Aristóteles. Galileu afirma, por exemplo, que a Terra e o céu pertencem ao mesmo sistema cósmico, e que existe somente uma Física, isto é, somente uma Ciência do movimento, válida tanto para o Mundo celeste quanto para o Mundo terrestre[134]. A repercussão foi imensa e imediata. A proibição da obra e o julgamento de Galileu pelo Santo Ofício, colocando-o em prisão domiciliar, sem poder escrever livros, seria uma página marcante da História da Ciência, ao evidenciar a inconveniente intromissão da Teologia e da religião no domínio científico.

Em 1638, seria publicado, oficialmente, sem o conhecimento de Galileu, em Leiden, na Holanda, seu último livro, *Discorsi e demostrazioni matematiche intorno a due nuove scienze attinenti alla meccanica e ai movimienti locali*, com os mesmos interlocutores do *Dialogo*. A obra é do domínio da Física, mas, ao tratar das questões de Mecânica, contribuiria para um melhor conhecimento da Astronomia e de Cosmologia.

Quando faleceu Galileu (janeiro de 1642), um século depois de Copérnico (1543), pode-se dizer que o novo conhecimento da Astronomia e da Física tinha proporcionado um cenário totalmente reformulado. A Física e a Cosmologia de Aristóteles/Ptolomeu se encontravam desacreditadas; a Terra, agora um planeta, estava liberada do dogma do movimento circular regular; as efemérides dos movimentos celestes tinham sido substituídas por princípios; e os instrumentos de observação tornaram-se mais precisos.

O conceito de inércia, já percebido por Galileu, Kepler, Torricelli e Cavalieri, teria de esperar a formulação da primeira lei da Natureza, de Descartes (*Principia Philosophiae*-1644), de que "toda coisa permanece no estado em que está, enquanto nada o muda", e depois sua segunda

[134] ROSSI, Paolo. *O Nascimento da Ciência Moderna na Europa.*

lei da Natureza de que "todo o corpo que se move tende a continuar seu movimento em linha reta".

6.6.2 Segundo Período – Astronomia de Observação

As atividades observacionais astronômicas prosseguiriam nas décadas seguintes, aumentando bastante o conhecimento dos diversos planetas e das estrelas, e ampliando a aceitação do sistema heliocêntrico, ao menos nas esferas intelectuais e científicas. Vários astrônomos contribuiriam, com seus trabalhos pioneiros, para esse avanço observacional e técnico.

O polonês Johannes Hevelius (1611-1687) estabeleceu, em sua cidade natal de Dantzig, na década de 40, o melhor observatório particular da Europa. Concentrou-se no estudo da Lua, publicando um belo volume de ilustrações da superfície do satélite, com o título *Selenographia* (1647); por tal obra e pelas observações, é considerado por muitos como o fundador da topografia lunar. Batizou vários acidentes geográficos com topônimos e geônimos da Geografia física terrestre (mares, rios, montanhas, Alpes, Apeninos, Mar da Serenidade, etc.). Elaborou Hevelius, em 1640, um catálogo, mais completo que o de Tycho, com mais de 1500 estrelas. Em 1644, demonstrou a existência das fases de Mercúrio. Descobriu quatro cometas e publicou *Produmus Cometicus* (1665), *Cometographia* (1668) e *Machinae Coelestes*, em dois volumes (1673 e 1679, respectivamente). Em sua obra, Hevelius sugeriu que os cometas deveriam percorrer uma órbita parabólica[135].

O italiano Giovanni Riccioli (1598-1671) nunca aceitou o heliocentrismo, tendo, mesmo, publicado, em 1651, o *Novo Almagesto*, no qual apoiava o sistema geo-heliocêntrico proposto por Tycho. Nessa obra, incluiu seus mapas da superfície lunar, batizando as crateras com nomes de astrônomos; Hiparco, Ptolomeu e Tycho Brahe foram honrados com as maiores crateras, e Aristarco e Copérnico com crateras secundárias. Foi o primeiro a afirmar que não havia água na Lua. Em 1650, ao observar a estrela Mizar (constelação da Ursa Maior), descobriu tratar-se, na realidade, de duas estrelas muito próxima uma da outra. Riccioli é um exemplo da resistência, ainda em meados do século XVII, à teoria copernicana.

O franco-italiano Jean Dominique Cassini (1625-1712), diretor do Observatório de Paris a partir de 1669, foi o mais importante e influente astrônomo da França, por muitas décadas. Por não ser adepto

---

[135] ASIMOV, Isaac. *Gênios da Humanidade.*

do heliocentrismo, Cassini seria o principal responsável do atraso pela aceitação, na França, das conquistas científicas de Galileu, Kepler e Newton. Em 1665/66, mediu os períodos dos movimentos de rotação de Júpiter e Marte; em 1668, preparou uma tabela dos movimentos dos satélites de Júpiter e calculou a rotação desse planeta em 9 horas e 50 minutos (válida até hoje)[136]. Localizou quatro satélites de Saturno: Japeto (1671), Reia (1672), Dione e Tétis (1684). Verificou Cassini, em 1675, ser o anel de Saturno constituído de pequenas partículas e dividido em dois por um pequeno interstício, desde então chamado de divisão de Cassini. Descobriu, ainda, algumas estrelas duplas, como Castor. Em 1672, determinou a paralaxe de Marte, resultado de suas medições após suas observações do planeta, desde Paris, e de Jean Richer (1630-1695), desde Caiena.

O francês Jean Picard (1620-1682), um dos fundadores da Academia de Ciências da França e do Observatório de Paris, fez-se famoso pela medição, publicada em 1671, da circunferência da Terra (40.067,9 km, com um raio de 6.355 km), a mais precisa desde Eratóstenes.

O grande matemático e físico holandês Christiaan Huygens (1629-1695), dentre suas várias contribuições para o desenvolvimento teórico e experimental da Ciência, foi muito ativo no campo da Astronomia. Em 1655, descobriu um método para polir lentes, e as incorporou no telescópio, aperfeiçoamento que o ajudaria a efetuar várias descobertas, sendo a primeira (1656) Titã, o maior satélite de Saturno. Ainda em 1656, descobriu o anel de Saturno, mas manteve sua descoberta registrada num anagrama na obra *De Saturni Luna Observatio Nova*, que seria explicado no livro de 1659, *Systema Saturnium*. Huygens previu o desaparecimento periódico (anunciado para julho-agosto de 1671) do anel, em razão de que, quando a Terra e o Sol se encontram simultaneamente no mesmo plano do anel, a finura deste o torna impossível de ser visto da Terra, por certo tempo, a cada 14 anos[137]. Coube, também, a Huygens o primeiro estudo sobre a nebulosa de Orion (uma região dessa nebulosa leva seu nome). Em 1659, detectou a constelação de *Syrtis Major* (*O Grande Pântano*). Em 1658, inventou, para medir o espaço, o micrômetro, com o qual podia avaliar os afastamentos angulares de alguns segundos de arco; para medir o tempo, inventou o relógio de pêndulo e construiu cronômetros. As contribuições de Huygens à Física serão examinadas mais adiante.

Robert Hooke (1635-1703), diretor de experimentação da Sociedade Real, efetuou pesquisas em vários domínios, sustentando célebre polêmica com Newton, argumentando que suas ideias sobre gravitação teriam sido

[136] TATON, René. *La Science Moderne.*
[137] TATON, René. *La Science Moderne.*

utilizadas sem o devido reconhecimento. No campo estrito da Astronomia de observação, descobriu, em 1664, que a Gamma Arietis era uma estrela dupla.

O dinamarquês Olaus Römer (1644-1710), levado por Picard para Paris, fez cuidadosas observações sobre os movimentos dos satélites de Júpiter, verificando que, vistos da Terra, os eclipses provocados pelo planeta central antecipavam-se durante o período do ano no qual a Terra se aproximava de Júpiter, e se atrasavam durante o período de maior afastamento. Daí deduziu que a luz teria uma velocidade extremamente rápida, mas finita, ao contrário do que pensavam, entre outros, Aristóteles e Descartes. Nesse trabalho pioneiro, a distância (cerca de 800 milhões de km entre a Terra e Júpiter) e a luz que piscava (os eclipses dos satélites) deram a Römer as bases para calcular em 227 mil km por segundo a velocidade da luz (calculada, hoje, em 299.792 km por segundo). Seus cálculos (22 de novembro de 1675) foram apresentados na Academia de Ciências da França, em 1676, com o apoio de Picard e Huygens, e oposição do conservador Cassini. Na Inglaterra, o trabalho de Römer recebeu o reconhecimento de Flamsteed, Halley e Newton.

Baseando-se nos estudos (1663) do matemático e astrônomo escocês James Gregory, Isaac Newton contribuiria para o aperfeiçoamento do telescópio, ao construir e apresentar à Sociedade Real, em 1668, o telescópio refletor, em que a objetiva é um espelho côncavo que reflete o raio luminoso no foco de uma ocular, na qual os raios luminosos são ampliados.

Deve-se registrar, nessa fase da Astronomia observacional, além dos aperfeiçoamentos, principalmente por Hevelius, Huygens e Newton, dos telescópios, a fundação dos primeiros Observatórios públicos, dotados de telescópios, em Paris e em Greenwich, perto de Londres. O Observatório francês, anexo à recém-fundada (1666) Academia de Ciências, com o propósito de observar a abóbada celeste, foi aprovado por Luiz XIV, em 1667, o que motivou a ida de Picard à Dinamarca para colher informações e examinar o famoso Observatório de Tycho[138]. Regressou a Paris acompanhado do astrônomo dinamarquês Römer, que participaria do grupo inicial de astrônomos da Escola francesa (Picard, Auzout e Huygens). O primeiro diretor do Observatório foi o conservador franco--italiano Jean Dominique Cassini, que exercia a cátedra de Astronomia na Universidade de Bolonha. O Observatório inglês foi criado por Carlos II a partir de uma proposta de John Flamsteed (1646-1719) à consulta sobre os meios para medir a longitude no mar. Sua ideia era a de preparar

[138] TATON, René. *La Science Moderne.*

um catálogo de estrelas e umas tabelas da Lua; o deslocamento rápido do satélite, tendo ao fundo a esfera das fixas, daria aos navegantes condições de, sabendo as horas em Londres, avaliar a longitude. Daí a escolha de Greenwich, na embocadura do Tâmisa, para a localização do Observatório (instalado em 1677), cujo primeiro diretor seria o próprio Flamsteed, com o título de astrônomo real, e o soldo anual de 100 libras. Fiel à ideia original de preparar um catálogo de estrelas e tabelas da Lua, Flamsteed se recusaria a publicar dados parciais antes de finalizar suas observações. Halley, contudo, de posse de algumas informações, as publicaria na Dinamarca, o que motivaria o rompimento de Flamsteed com Newton e Halley. Sua excelente obra seria publicada postumamente (1725) como *Historia Coelestis Britannica*, com a posição de mais de três mil estrelas calculada com a precisão de 10 segundos de arco.

6.6.2.1 A Cosmologia de Descartes

Além de sua Filosofia e sua Metodologia, a obra *Princípios de Filosofia*, escrita em 1644, contém a interpretação de Descartes do Cosmos. O livro consta de três partes, sendo que a primeira reafirmaria sua doutrina filosófica, e as duas outras revelariam sua concepção cosmológica[139]. Na 5ª Parte do *Discurso sobre o Método*, já havia Descartes apresentado uma súmula de sua teoria dos turbilhões, pela qual explicou, usando apenas leis mecânicas, a formação do Mundo. As três leis que regem o Mundo seriam, segundo Descartes, deduzidas das infinitas perfeições de Deus. A primeira é a da "inércia" ou "persistência das velocidades e direção", pela qual "cada porção da matéria continua sempre no mesmo estado, enquanto o choque de outras não a constrange a mudá-lo". A segunda é o princípio pelo qual "quando um corpo impele outro, não lhe transmite nenhum movimento sem perder outro tanto do seu, e nem também nenhum lhe tira sem que o seu não seja aumentado de outro tanto"[140]. A terceira lei é a de que o movimento natural é retilíneo, isto é, "quando um corpo se move, embora seu movimento se faça o mais das vezes em linha curva, cada uma suas porções, em particular, tende sempre a continuar o seu caminho em linha reta". Conforme assinalou o já referido Horta Barbosa, tais leis foram obtidas por indução, mas Descartes procurou justificá-las por dedução pela circunstância de "ser Deus imutável e agir sempre do mesmo modo, produzindo constantemente o mesmo efeito".

[139] RONAN, Colin. *História Ilustrada da Ciência.*
[140] BARBOSA, Luiz Hildebrando Horta. *História da Ciência.*

A extensão – comprimento, largura e espessura – era para Descartes a essência da matéria, tudo no Universo (as estrelas, os animais, as plantas, o Homem, o Calor, a luz) eram variantes da matéria primordial, a extensão (ou espaço), criada por Deus que lhe comunicou certa quantidade de movimento, cujo valor se mantém constante, apesar das variações locais. Como não é possível haver vácuo (pois a matéria ocupa toda a extensão), as partículas constitutivas da matéria em movimento foram necessariamente substituídas por outras, as quais, por sua vez, também foram substituídas por outras, criando, assim, o turbilhão ou vórtice. Pelos atritos (choques) decorrentes do turbilhão, a matéria cósmica se esfacelou e se converteu em partículas esferoidais, de diversas dimensões, as maiores compondo o material da Terra, as de tamanho médio, o ar, e as menores, o fogo. As partículas de fogo, coletadas no vórtice, concentraram-se no centro do turbilhão, pois se movem mais rápido, formando uma estrela ou um sol. Essa substância tênue e etérea seria a responsável pelo transporte da luz e do Calor, que se propagariam instantaneamente. O fluido interplanetário arrastaria em seu movimento os planetas formados por partículas de dimensões maiores, os quais, por sua vez, se constituiriam em centros de pequeno turbilhão, no qual flutuam seus satélites.

Assim, Descartes construiu sua Cosmologia e explicou os dados da Astronomia sem recorrer a virtudes ou qualidades ocultas, mas a leis mecânicas. Para a origem de todo o processo se socorreu, contudo, da metafísica, já que da noção de criação do Universo por um Ser Perfeito deduziria sua concepção filosófica.

6.6.3 Terceiro Período – Newton e a Mecânica Celeste

A obra de Isaac Newton (1642-1727) transcende os limites da Astronomia e da Cosmologia para englobar a Matemática e a Física, pois para estabelecer uma nova Mecânica Celeste no *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* (*Princípios Matemáticos da Filosofia Natural*) teve de desenvolver as novas bases da Física Moderna e um novo método complexo de cálculo para lidar com o movimento. Em sua monumental obra, Newton unificaria as Mecânicas terrestre e celeste em um conjunto de leis físicas, aplicáveis ao conjunto de fenômenos físicos, como o movimento planetário, das marés, da precessão dos equinócios, das órbitas dos cometas, da trajetória dos projéteis. Descobertas, princípios, ideias e estudos de predecessores (Galileu, Kepler, Descartes, Huygens, Hooke e outros) seriam contribuições da maior importância na formulação de poucas leis abrangentes da Física Moderna.

Para Newton, como para muitos outros filósofos naturais do século XVII, o maior desafio da nova ciência do movimento era, aceita a teoria heliocêntrica, a explicação da estabilidade das órbitas planetárias[141]. A Cosmologia de Ptolomeu e a Física de Aristóteles haviam sido refutadas, mas não totalmente abandonadas, no curso do século XVII, apesar das evidências e formulações proporcionadas por Copérnico (teoria heliocêntrica), por Galileu (movimento acelerado uniforme dos corpos em queda e desenvolvimento da ideia da inércia), e por Kepler (três princípios do movimento planetário). As bases da Cosmologia e da Física antigas, como o geocentrismo, o movimento circular planetário, a esfera etérea circundante, a tendência para baixo dos corpos pesados e para cima dos demais foram, assim, no devido tempo, rebatidas, e provadas falsas. Ao ser desmantelado o modelo secular do Universo, era imperioso que um novo sistema, com novos fundamentos, de estrutura racional e matematicamente demonstrável, emergisse, de forma a dar adequada resposta às dúvidas, às incertezas e às indagações levantadas.

A grande questão que se colocava, para a qual não havia uma resposta definitiva, era a de saber como os astros podiam se manter em suas órbitas sem delas escapar. Para tanto, era imprescindível descobrir a atração ou a força que manteria os corpos celestes em suas respectivas órbitas. Copérnico, Galileu e Kepler não foram capazes de dar a resposta completa ao problema, tanto por falta de suficiente desenvolvimento, em suas épocas, da Matemática e da Mecânica, para cujas Ciências deram, contudo, importantíssimas e pioneiras contribuições, quanto por falta de melhor conhecimento do Sistema Solar e de apropriados instrumentos de observação e de medição.

A ideia de atração entre os astros já fora aventada por Anaxágoras e Empédocles. O escolástico Oresme argumentara que, se Aristóteles estivesse errado, uma explicação para a queda dos corpos seria a de que uma matéria atrairia outra matéria. Em 1600, William Gilbert considerou a Terra um grande ímã, cuja ação magnética era assimilada à gravitacional. Para Kepler (*Astronomia Nova,* 1609) haveria uma atração mútua entre corpos de idêntica natureza, como entre a Terra e a Lua, mas não entre o Sol e os planetas. A força emanada do Sol movimentaria os planetas, cuja força de atração seria maior na proximidade e menor quanto mais distante dos planetas, ou seja, a força variaria inversamente proporcional à distância. O Magnetismo de Gilbert, aplicado por Kepler a todos os corpos celestes, combinado com a força motriz proveniente do Sol, criaria a órbita elíptica.

O médico e matemático Gian Borelli (1608-1679), em sua *Theoricae mediceorum planetarium ex causis physicis deductae* (1666), rejeitaria a ideia

[141] GLEISER, Marcelo. *A Dança do Universo.*

de atração à distância, mas admitiria, com base no princípio de Galileu da inércia, que a trajetória seria resultado das forças antagônicas – centrípeta e centrífuga – em equilíbrio, como o fariam Júpiter em relação a seus satélites e a Terra em relação à Lua. A inércia, vislumbrada por Galileu, explicaria o espaço infinito e isotrópico[142]. Borelli antecipava Newton ao acreditar que os planetas estariam sujeitos a várias forças em equilíbrio e se moviam, por conseguinte, em órbitas estáveis.

Já nessa época (1666/67), Newton, aparentemente sem conhecer os trabalhos de Borelli, interessou-se em estudar o movimento dos astros, suas órbitas e a razão de, por exemplo, a Lua não cair, como a famosa maçã da lenda, em cima da Terra. Importava saber, assim, se a Mecânica de Galileu (lei da queda livre dos corpos) e o movimento planetário elíptico (leis de Kepler) obedeciam à mesma Física, ou seja, se havia apenas uma Física para os fenômenos físicos do Universo. Suas tentativas iniciais sobre a determinação, matemática, da órbita da Lua, resultante do equilíbrio de forças atuantes, fracassariam por dois motivos principais: falta de apropriada técnica de cálculo e imprecisão dos dados do valor do raio da Terra. Newton abandonaria apenas temporariamente o assunto.

Em 1671, o abade Jean Picard daria um valor bastante aproximado do raio da Terra, trabalho apresentado e discutido na Sociedade Real de Londres, no ano seguinte. Ao mesmo tempo, Newton desenvolveria o método das fluxões (Cálculo infinitesimal), indispensável para o estudo matemático das órbitas elípticas, pois como suas distâncias e a força de atração se alteram constantemente, era indispensável dispor de cálculos dessas variáveis.

Huygens, em seu *Horologium Oscillatorium* (1673), ampliaria o conceito de Wallis de conservação do movimento "mv", ao demonstrar que "mv^2" também se conservava, e estudaria as forças centrais (centrípeta e centrífuga), o que viria a ser aproveitada por Newton. Força centrífuga foi um termo criado por Huygens para explicar a força impulsionando para fora um corpo em movimento.

No ensaio *An attempt to prove the motion of the Earth from observations* (*Ensaio para provar o movimento da Terra mediante observações*), de 1674, Robert Hooke considerou três hipóteses: a) que todos os astros estariam submetidos a uma força semelhante à gravidade (que deveria ser magnética), b) que uma vez postos em movimento rotativo uniforme, nele persistiriam, se não existisse uma força que os obrigasse a descrever uma trajetória elíptica, e c) que a força de atração seria mais intensa quanto menor fosse a distância. Hooke admitiu, contudo, que "isto ainda não determinei experimentalmente,

142 TATON, René. *La Science Moderne.*

mas é uma ideia que, sendo seguida como merece, não pode deixar de ser muito útil aos astrônomos para deduzir todos os movimentos celestes a uma regra segura" (citado por Horta Barbosa na *História da Ciência*). Cerca de cinco anos depois, Hooke afirmaria estar persuadido de que essa atração variaria na razão inversa da distância, sem, no entanto, apresentar a expressão matemática dessa força[143].

O físico e astrônomo Edmond Halley (1656-1742), sucessor de Flamsteed como Astrônomo Real, foi o primeiro a observar, da Ilha de Santa Helena, as estrelas do Hemisfério Sul, publicando, em 1679, seu *Catalogus Stellarum Australium*, com 341 estrelas. Amigo de Newton, Halley incentivou-o em seus estudos e financiou a publicação do *Principia*. Nomeado, em 1703, professor de Geometria de Oxford, estudou a trajetória dos cometas, em particular do que observara pessoalmente em 1682. Após estabelecer uma relação dos movimentos de duas dúzias de cometas, percebeu a similitude dos movimentos do cometa de 1682 com os de 1456, 1531 e 1607, o que o levou a prever sua volta em 1758, o que efetivamente ocorreu; o corpo celeste é conhecido como cometa Halley.

Em 1684, com base no trabalho de Huygens sobre o movimento circular e a 3ª lei de Kepler, mostrou Halley[144], com Hooke e Wren, que, para manter os planetas em órbita, o Sol deveria exercer uma força que variaria de modo proporcional ao inverso do quadrado de sua distância ao planeta; no entanto, não lhes foi possível estabelecer, claramente, o tipo da órbita que os planetas traçariam, em função dessa força supostamente conhecida. Diante desse insucesso, Halley visitou Newton em Cambridge e lhe perguntou qual seria a curva descrita pelos planetas, supondo que a força de atração do Sol fosse inversamente proporcional ao quadrado da distância entre eles. Newton contou esse encontro ao matemático Abraham de Moivre que relatou ter Newton respondido imediatamente que a curva era uma elipse.

Em novembro de 1684, Newton enviou a Halley um manuscrito de nove páginas intitulado *De motu corporum in gyrum* (*Sobre o movimento dos corpos em uma órbita*) que, além de reafirmar a órbita elíptica dos planetas, continha uma demonstração matemática das três leis de Kepler. Na curta exposição, Newton demonstrou que, se os planetas se movem numa órbita elíptica, eles precisam estar sob o controle do quadrado de uma força inversa direcionada para um foco da elipse, e demonstrou, ainda, que, sob a influência do quadrado de uma força inversa, a órbita dos planetas descreve uma seção cônica[145].

---

143 TATON, René. *La Science Moderne.*
144 TATON, René. *La Science Moderne.*
145 BERLINSKI, David. *O Dom de Newton.*

Após mais de dois anos de trabalho intenso e extenuante, Newton entregou, em 1687, à Sociedade Real, o *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*, em três volumes, que seria publicado naquele mesmo ano, graças ao financiamento do astrônomo e amigo Edmond Halley.

Newton iniciou os *Principia* com suas três leis do movimento. A primeira delas é conhecida como a lei da inércia: "Todo corpo permanece em estado de repouso, ou de movimento uniforme em linha reta, a não ser que seja compelido a mudar seu estado por meio de forças exercidas sobre ele". A linha reta é, assim, a natural, sendo qualquer outra resultante de uma força atuante. Na superfície da Terra, os corpos em repouso tendem a permanecer em repouso e os corpos em movimento tendem a voltar ao estado natural de repouso, em função da fricção e da gravidade. No Universo, existem dois movimentos naturais: em repouso e em movimento uniforme (velocidade invariável) ao longo de uma linha reta. Existem três possibilidades de mudança: uma partícula em repouso pode começar a se mover; uma partícula em movimento retilíneo uniforme pode reduzir ou acelerar sua velocidade; ou uma partícula pode mudar de direção ao se desviar da linha reta. Para Newton, "toda mudança é mudança de velocidade"; assim, um objeto que gire em elipse, quando antes se movia em linha reta, adquiriu velocidade em uma nova direção.

A segunda lei do movimento é conhecida como a da aceleração: "a mudança no movimento é proporcional à força motriz exercida, e é feita na direção da linha reta na qual essa força é exercida", ou seja, a força é o produto da massa pela aceleração, expressa na famosa fórmula F=MA. A massa de um corpo é seu poder inerente de resistir à mudança, é o que a força deve superar para causar a mudança de velocidade, ou, ainda, em outros termos, é a quantidade de inércia que possui o objeto. Nesse conceito newtoniano, uma força age impelindo objetos materiais a acelerar; é possível medir massa e aceleração, mas só se pode observar ou medir a força que as controla. Forças de contato são fáceis de entender, em função da colisão; as forças newtonianas agem de forma invisível, à distância, apenas seu rastro pode ser detectado.

A terceira lei da cinética é a da ação e reação: "a cada ação corresponde uma reação igual e contrária". Tal fato implica um princípio de equilíbrio.

A partir dessas suas três leis, das três leis do movimento planetário de Kepler (cada planeta descreve uma órbita elíptica na qual o Sol ocupa um dos focos; as áreas percorridas pelo raio vetor vindo do centro do planeta ao centro do Sol são proporcionais ao tempo empregado para percorrê-las; os quadrados de tempo na revolução dos planetas são proporcionais aos cubos dos grandes eixos de suas órbitas), e das experiências e cálculos de Galileu sobre a queda dos corpos na superfície da Terra, iniciou Newton o

estudo do problema pelo movimento da Lua, para o qual já dispunha de dados que permitiriam elucidar sua órbita circular, como o "valor de seu afastamento da Terra, o raio de nosso Globo, a grandeza da aceleração no nível da superfície, bem como o tempo de uma circunvolução completa de nosso satélite"[146].

Pela lei da inércia, a trajetória natural da Lua é uma linha reta, e sua velocidade orbital é fixa, porque nenhuma força causa sua aceleração. No entanto, a Lua se movimenta ao redor da Terra em círculo, o que significa estar alguma força (1ª e 2ª leis de Newton) deformando, continuamente, sua trajetória natural, reta, para circular. Como a órbita, contudo, é circular, a força responsável dessa alteração é a centrípeta, ou seja, originária do centro da Terra, de acordo com a 2ª lei da aceleração. Em outras palavras, a Lua está em movimento acelerado, e mensurável, em direção à Terra. Por seu cálculo das fluxões, Newton sabia que duas massas esféricas gravitam uma para a outra, como se estivessem concentradas em seus centros e sempre na razão direta do produto delas e na inversa do quadrado das distâncias que as separam.

Partindo da comprovação de Galileu de que os corpos, a pequena distância da superfície da Terra, cairiam cerca de 15 pés no primeiro segundo (15 t) e 15 t^2 em segundos , concluiu Newton que, em um minuto (60 segundos), qualquer corpo cairá ($15x60^2$) no nível da Terra. Aplicando a Mecânica terrestre de Galileu ao Universo e decrescendo a gravidade com o quadrado da distância, a Lua, situada a uma distância de 60 raios terrestres, cairia para a Terra 60^2 vezes mais lentamente, isto é, em um minuto cairia apenas $15x60^2/60^2=15$ pés, enquanto uma maçã, no nível da superfície da Terra, cairia os 15 pés em 1 segundo, o que equivale dizer que a maçã tomba 4.900 milímetros em um segundo para a Lua, em órbita, apenas 1,3 milímetro por segundo, ou 3.600 vezes mais morosamente, conforme explicou o já mencionado Horta Barbosa. De posse de novos dados do meridiano terrestre, fornecidos por Picard, encontrou Newton para o arco percorrido pela Lua, em um segundo, 3.148 pés, e para a queda da Lua 0,0041 pés por segundo ou 15 pés por minuto. Como a órbita é circular, a força responsável dessa alteração é a centrípeta, de acordo com a 2ª lei da aceleração. Comparando a magnitude dessa força com a força da gravidade atuando na superfície da Terra, descobriu Newton que, descontando a distância, o puxão centrípeto na Lua e a força da gravidade nos objetos terrestres, tinham a mesma magnitude, e concluiu que elas representavam a mesma e única força[147].

[146] BARBOSA, Luiz Hildebrando Horta. *História da Ciência.*
[147] BERLINSKI, David. *O Dom de Newton.*

Explicados e comprovados, assim, o movimento e a órbita lunar, Newton aplicaria os mesmos princípios para demonstrar o que chamou de estrutura do sistema do Mundo, ou seja, a Lei da Gravitação Universal, cuja esfera de aplicação é todo objeto material, grande ou pequeno, na Terra ou em qualquer lugar do Cosmo. A expressão matemática dessa famosa lei é a equação: $F=Gm^1m^2/r^2$, em que F designa a força entre dois objetos, m^1 e m^2 são as massas desses objetos, e r a distância entre eles; G é uma constante universal, a mesma em qualquer lugar e para qualquer coisa.

No Livro III dos *Principia*, Newton explicaria o desenvolvimento de seu raciocínio, pelas seguintes proposições:

Proposição I – as forças pelas quais os planetas circunjovianos são continuamente desviados de movimentos retilíneos, e mantidos em suas próprias órbitas, tendem ao centro de Júpiter, e são inversamente proporcionais aos quadrados das distâncias dos planetas até esse centro;

Proposição II – as forças pelas quais os planetas primários são continuamente desviados de seus movimentos retilíneos, e mantidos em suas próprias órbitas, tendem ao Sol, e são inversamente proporcionais aos quadrados das distâncias desses planetas até o centro do Sol;

Proposição III – a força pela qual a Lua é mantida em sua própria órbita tende à Terra, e é inversamente proporcional ao quadrado da distância da Lua até o centro da Terra.

Nessas três proposições, os planetas primários, a Lua e as luas de Júpiter estão submetidos à atração centrípeta em direção a uma fonte central.

Proposição IV – a Lua gravita em direção à Terra, e pela força da gravidade é continuamente desviada de seu movimento retilíneo e mantida em sua órbita;

Proposição V – os planetas circunjovianos gravitam na direção de Júpiter; os planetas circunsaturnais, na direção de Saturno; os circunsolares na direção do Sol, e pela força de gravidade deles são desviados de seus movimentos retilíneos e mantidos em órbitas curvilíneas. Em seus comentários, Newton esclareceu o importante ponto que "a força que retém os corpos celestiais em suas órbitas foi até agora chamada centrípeta, mas tornando-se agora evidente que não pode ser outra que não uma força gravitacional, devemos daqui por diante chamá-la de gravidade".

Em vez de uma força interna atraindo a Lua para a Terra, ou a Terra para o Sol, Newton explica haver uma força recíproca, proporcional às massas da Terra e da Lua, e da Terra e do Sol. Como expressou o já citado Berlinski, na 1ª Lei, Newton criou um Mundo no qual os objetos estavam em

repouso ou em movimento em linha reta. A 2ª Lei estabeleceu uma relação entre massa, força e aceleração. A força requerida para acelerar um objeto é proporcional à sua massa inercial: quanto maior a massa inercial, maior a força para mudar o comportamento do objeto. Para vencer essa resistência inercial à mudança, "as forças são abstratas, ao contrário da força que aparece na Lei da Gravitação, pois tem sua origem na própria matéria e atua como expressão suprema da tendência dos objetos materiais de se aproximarem um dos outros. É a massa gravitacional de um objeto que expressa o poder de atração inato dele. E força gravitacional, assim como a força inercial, é proporcional à massa do objeto", escreveu o mencionado Berlinski.

Newton concluiu com a Proposição VII: "existe uma força de gravidade concernente a todos os corpos, proporcional às respectivas quantidades de matéria que eles contêm". A justificativa se segue:

> que todos os planetas gravitam uns em direção dos outros, nós provamos anteriormente, bem como que a força da gravidade em direção a cada um deles, considerada à parte, é inversamente proporcional ao quadrado da distância dos locais a partir do centro dos planetas. Além disso, já que todas as partes de qualquer planeta A gravita em direção a qualquer outro planeta B, e a gravidade de cada parte está para a gravidade do todo assim como a matéria de cada parte está para a matéria do todo, e (pela Lei III) a cada ação corresponde uma reação igual; logo o planeta B irá, por sua vez, gravitar em direção a todas as partes do planeta A; e sua gravidade, em direção a qualquer parte estará para a gravidade do todo como a matéria da parte para a matéria do todo.

Newton terminaria sua proposição VII, pela primeira e única vez nos *Principia*, com a famosa QED, ou *quod erat demonstrandum*.

A gravidade, apesar de fraca a grandes distâncias, atua em escala cosmológica, o que permite explicar os vários aspectos do Universo em grande escala[148]. Num Universo sem gravidade, a matéria se dispersaria no espaço. Objetos do Sistema Solar permanecem em suas órbitas devido à gravidade. Por atuar à distância e ainda que transmitida por corpos materiais, a gravidade é dificilmente mecânica.

6.7 Física

O grande significado do século XVII na história da Física é que a este período histórico correspondeu o advento da chamada Física

[148] VERDET, Jean Pierre. *Uma História da Astronomia.*

Moderna, a qual substituiria a Física Antiga, que remontava à Grécia de Aristóteles, e que se limitara, praticamente, à Mecânica e à Óptica, embora considerações filosóficas tenham sido adiantadas sobre a matéria.

A Filosofia Natural medieval e renascentista era adequada, e correspondia a uma concepção estática, geocêntrica e hierarquizada do Mundo, razão de seu inegável sucesso, inquestionada, por vários séculos. As grandes transformações políticas, econômicas, sociais, técnicas e outras, e o desenvolvimento nas pesquisas e nos estudos científicos tornariam a Mecânica tradicional incompatível para uma nova realidade, que, paulatinamente, substituiria a anterior. As explicações sobre os fenômenos físicos já não satisfariam a algumas mentes mais curiosas e ousadas, que buscavam respostas precisas e quantificáveis aos seus questionamentos. Nesse contexto, as novas evidências e percepções indicavam a incongruência de concepções e de princípios, tidos, até então, como válidos e incontestáveis. O limitado desenvolvimento dos estudos e das pesquisas na Filosofia Natural, até o Renascimento Científico, resultaria insuficiente para invalidar a Mecânica Tradicional e formular, ao mesmo tempo, um novo conjunto de princípios e conceitos que substituíssem o formidável edifício teórico e conceitual da Física de Aristóteles. Pequenas alterações que melhor explicassem alguns fenômenos, como o do movimento, sem contestar todo o arcabouço teórico em que se baseava, seriam impróprias e insuficientes. A questão era de base e de fundo, e a tarefa era, pois, gigantesca.

Tratava-se, em última análise, de criar uma nova Ciência, um novo conjunto teórico e conceitual que, de forma coerente, lógica, matematizada e experimental, explicasse os fenômenos físicos[149]. Assim, novas noções, como a de força, de inércia e de massa, seriam introduzidas; a teoria dos quatro elementos continuaria a prevalecer, porém a ideia de minúsculas partículas (átomos) ganharia adeptos; o conceito de Calor como matéria continuaria a ser adotado por todo o século XVII, porém progresso ocorreria nas pesquisas a partir das inovações de instrumentos de medição de temperatura; a questão da existência, ou não, do vácuo adquiriria importância fundamental. Surgiria o conceito de lei científica[150].

Em poucos decênios, o total reexame nos campos da Mecânica e da Óptica culminaria com a criação de uma nova Mecânica e a formulação das grandes teorias corpuscular e ondulatória da luz, graças aos trabalhos de Galileu e Kepler até Descartes e Newton, passando por Torricelli, Huygens e Hooke, entre outros. Ao final do século XVII, as tradicionais

---

[149] HALL, A. Ruppert. *A Revolução na Ciência – 1500-1750.*

[150] ROSSI, Paolo. *O Nascimento da Ciência Moderna na Europa.*

Mecânicas, sublunar e celeste, seriam substituídas por um conjunto de leis científicas aplicáveis a todo o Universo, dando nascimento à Física Moderna.

Ao contrário da veemente e enérgica reação das autoridades religiosas e universitárias às críticas ao modelo cosmológico de Ptolomeu e à proposta de um novo sistema heliocêntrico, o reexame com vistas à ruptura com a Física tradicional não suscitou nenhuma objeção de ordem teológica ou religiosa, tendo de enfrentar, apenas, a normal resistência de certos setores conservadores às novas ideias. Neste sentido, a evolução da Física no período não encontraria o mesmo tipo de obstáculos que a Astronomia/Cosmologia.

Antes do exame de diversos ramos (Eletromagnetismo, Calor, Acústica, Mecânica, Óptica) da Física, são necessárias considerações prévias, ainda que rápidas, sobre duas questões básicas na evolução do conhecimento dos fenômenos físicos. O vácuo e o átomo seriam temas recorrentes que adquiririam atualidade nos estudos e pesquisas, dividindo a opinião da comunidade científica do século XVII. As pesquisas sobre o vácuo estariam diretamente vinculadas aos experimentos sobre o peso do ar e a pressão atmosférica.

6.7.1 Vácuo

O vácuo, como uma impossibilidade, se baseava no argumento de Aristóteles de que um corpo impulsionado com uma velocidade constante deslocar-se-ia cada vez mais rápido quanto menos denso o meio ambiente. Assim, no vácuo, a velocidade seria infinita, o que era impossível, dada a negativa aristotélica do infinito. A *Natura abhorret vacuum* (a *Natureza tem horror ao vácuo*) foi uma frase cunhada na Idade Média. Essa teoria prevaleceu na Física antiga (Alberto Magno, Roger Bacon, Jean Buridan e outros), se bem que opiniões divergentes, baseadas em experimentos (Gil de Roma, 1247-1316) ou em considerações teológicas (poder infinito de Deus), mantivessem o assunto sob exame. Na realidade, na Antiguidade, os atomistas, como Demócrito, Estratão, Epicuro, Lucrécio, Filon e Heron; na Idade Média, Gil de Roma, Nicolau de Autrecourt, Isidoro de Sevilha, Beda e Guillaume de Conches[151]; e entre os árabes, Razés, aceitavam, ou admitiam, a possibilidade do vácuo. No período do Renascimento Científico, o nome de Giordano Bruno deve ser registrado, por sua importância no debate sobre o tema. Experiências, como a da água que não escoa do relógio de água enquanto o orifício superior está fechado,

[151] CROMBIE, Allistair C. *Historia de la Ciencia.*

suscitaram observações, ou da "continuidade da Natureza universal" (Roger Bacon) ou da "resistência do vácuo ou sucção pelo vácuo" (Gil de Roma)[152]. Os aristotélicos negavam, igualmente, peso ao ar, tema que ressurgiria no século XVII, por motivo dos estudos sobre o vácuo.

As pesquisas sobre o movimento dos corpos na Mecânica (celeste e terrestre) e sobre a propagação da luz (Óptica) e do som (Acústica), bem como o surgimento da noção de força e de sua atuação à distância (gravidade, Magnetismo), motivariam, ainda, o reexame da questão da possibilidade (Galileu, Gassendi, Pascal) ou não (Francis Bacon, Descartes) do vácuo.

Já se sabia, na época, utilizar uma bomba hidráulica, composta de um cilindro, com um pistão em seu interior, com o propósito de bombear água de um poço; à medida que o pistão se deslocava, o espaço por ele deixado era preenchido pela água sugada do poço por um tubo. A explicação corrente era a de que a água preenchia o espaço vazio deixado pelo pistão, porque a "natureza tem horror ao vácuo". Galileu admitia o vácuo, e em suas experiências teria sido o primeiro a produzir o vazio artificial, tirando o pistão da base de um cilindro fechado, e atribuindo a resistência que encontrou à força do vácuo[153]. O problema consistia, porém, em que a água só podia ser elevada até 10,3 metros acima de seu nível original. Essa questão foi suscitada a Galileu por uma carta de um jardineiro que buscava uma solução para o problema. Galileu encarregou seus discípulos Evangelista Torricelli (1608-1647) e Viviani (1622-1703) de estudar o assunto. Refletindo sobre o problema, Torricelli concluiu que a água, por si só, não era capaz de se elevar e preencher o espaço deixado pelo pistão; ela o fazia porque era empurrada pelo peso do ar. Quando a coluna de líquido atingia 10,3 metros de altura, seu peso contrabalançava o do ar e o movimento se detinha. Viviani, instruído por Torricelli, fez experimentos com água, constatando que o líquido não ficava acima de determinado nível. Em 1644, Torricelli procedeu à sua famosa experiência, substituindo a água por mercúrio[154] (densidade 13,6 maior que a da água): preencheu com mercúrio um tubo de vidro, fechou-o com o polegar, inverteu-o e mergulhou sua extremidade num recipiente com mais mercúrio. Ao retirar o polegar, o nível no interior do tubo começou a baixar, sem que o ar estivesse penetrando, até se deter a uma determinada altura (a 760 milímetros acima do nível do recipiente); acima desse nível do mercúrio só poderia existir vácuo. O mercúrio não descia mais porque o peso do ar externo o detinha. Torricelli observaria, também, pequenas flutuações na altura do mercúrio, que seriam devidas

---

[152] CROMBIE, A. C. *Historia de la Ciencia.*
[153] CROMBIE, A. C. *Historia de la Ciencia.*
[154] ROSSI, Paolo. *O Nascimento da Ciência Moderna na Europa.*

ao peso (pressão) das camadas superpostas de ar. Estava inventado o barômetro[155]. A experiência de Torricelli indicava que, se a atmosfera tinha peso, deveria ter altura e ser finita, o que viria a ser confirmado experimentalmente por Pascal.

O famoso experimento de Torricelli, em 1644, teve ampla e rápida divulgação no meio científico, graças a Marin Mersenne, o que permitiu seu conhecimento imediato por Descartes e Pascal. Deve-se indicar, no entanto, que os cartesianos, que aceitavam o peso do ar, mas não o vácuo (a matéria ao deixar um lugar seria imediatamente substituída por outra matéria contígua), consideravam que o espaço acima do mercúrio (na experiência de Torricelli) não era vácuo, pois estaria cheio de matéria sutil, capaz de penetrar pelas paredes do tubo. Leibniz, com argumentos metafísicos, nunca aceitou a possibilidade do vácuo, mesmo diante das diversas experiências levadas a cabo ao longo do século.

Em 1647, o matemático e físico francês Blaise Pascal (1623-1662), publicou *Experiences nouvelles touchant le vide*, no qual ainda aceitava a teoria do horror da Natureza ao vácuo, mas reconhecia ser limitada a força desse horror. Já era ideia generalizada, contudo, que a pressão do ar da atmosfera, consequência de seu peso, era a que, na realidade, sustentava sozinha o mercúrio no tubo de Torricelli. Pascal deduziria que, no caso da atmosfera, o peso do ar diminuiria com a altitude, o que significava, também, diminuição da quantidade de ar, até seu completo desaparecimento. Construiu dois barômetros iguais ao de Torricelli e, impossibilitado de realizar pessoalmente a experiência, por motivo de saúde, pediu a seu cunhado, Florin Périer, que os levasse em uma escalada do monte Puy-de-Dôme, no Auvergne. Em 19 de setembro de 1648, seria efetuada a célebre experiência para determinar como se comportaria a coluna de mercúrio medida na base, ao longo de uma subida e no cimo de uma montanha. Como relataria Pascal, o nível das colunas de mercúrio baixou significativamente (três polegadas) durante a escalada, retornando à altura inicial ao final da descida. Estava, assim, comprovado ser o peso da atmosfera o responsável pela ascensão da água nas bombas, e não o horror da Natureza ao vácuo. Em 1663, seria publicado, postumamente, seu *Tratado sobre o Peso da Massa do Ar*, provavelmente escrito em 1653. Em seus estudos sobre a pressão do ar, Pascal formularia a Lei que leva seu nome, sobre a pressão atmosférica sobre os líquidos, pela qual a pressão age uniformemente através de um fluido, ou de que ela se distribui de modo igual por todo fluido. Com a construção de uma teoria quantificada, em que o ar passava a ser tratado como um líquido, Pascal equipararia a Pneumática com a Hidráulica. A seguinte passagem reflete o novo espírito que predominaria, em breve, na Ciência:

---

[155] BARBOSA, Luiz Hildebrando Horta. *História da Ciência.*

> ...no relato precedente relatei todos os efeitos que até agora se acreditavam produzidos pela Natureza para evitar o vazio, e coloquei em destaque que seria absolutamente falso que tais aconteçam por esta razão imaginária. Ao contrário, apoiado por argumentações e experimentos absolutamente convincentes, demonstrei que o peso do ar é a única e verdadeira causa destes, de tal forma que está fora de qualquer dúvida que a Natureza não produz efeito algum de evitar o vazio. Pouco mais adiante, Blaise Pascal, numa digressão filosófica, consideraria um absurdo conceder à Natureza vontades, horror e paixões[156].

Na Alemanha, desde 1632, o físico e engenheiro Otto von Guericke (1602-1686) tentava construir um instrumento capaz de extrair água de um recipiente completamente cheio do líquido, a fim de produzir o vácuo. O repetido fracasso de suas tentativas com a água levaria von Guericke a tentar com o ar, construindo, assim, a primeira bomba pneumática, a qual viria a ser aperfeiçoada, em seguida, por Boyle, Hooke, Mariotte, Papin e outros[157]. Sua famosa demonstração pública em Magdeburgo (1654) com dois hemisférios de cobre, unidos, formando uma esfera de 35,5 cm de diâmetro, completamente sem ar em seu interior, que não puderam ser separados por quatro parelhas de cavalos puxando em direções opostas, demonstraria, assim, a força exercida pela pressão do ar.

Ao mesmo tempo, na Inglaterra, Robert Boyle (1627-1691), com a colaboração de Robert Hooke, começaria a investigar, com uma bomba pneumática mais aperfeiçoada que a de von Guericke, os fenômenos da elasticidade e do peso do ar, que seriam descritos e ilustrados em seu *New Experiments Physico-Mechanical on the Spring of the Air and its Effects*, publicado em 1660.

Com suas experiências no vácuo, Boyle constataria, igualmente, que o Magnetismo e a luz não eram afetados, mas que o som cessava com a ausência de ar[158], e confirmaria a afirmativa de Galileu de que os objetos, independentemente de seus pesos, cairiam, no vácuo, com a mesma velocidade. Em suas investigações, Boyle descobriria, ainda, que o volume do gás varia na razão inversa da pressão, lei que seria conhecida como Lei Boyle-Mariotte, por ter o físico-químico francês acrescentado que o fenômeno ocorria somente em temperatura constante. Mariotte publicaria, em 1676, o *Discours de la Nature de l´Air*, no qual cunhou o termo barômetro.

---

156 GOLDFARB, Ana Maria. *Da Alquimia à Química.*
157 TATON, René. *La Science Moderne.*
158 HALL, A. Ruppert. *A Revolução na Ciência – 1500-1750.*

6.7.2 Atomismo

Além desse expressivo progresso no conhecimento do vácuo e da pressão atmosférica, a questão do atomismo foi retomada, no século XVII, com a redescoberta e divulgação da Filosofia de Epicuro por Pierre Gassendi.

A reflexão sobre a natureza da matéria levaria os pensadores gregos a formularem duas grandes teorias: a dos quatro elementos (terra, água, ar e fogo), de Empédocles; e a atomista, de Leucipo/Demócrito, pela qual o Universo era formado por unidades físicas indestrutíveis, os átomos, em número finito, que variariam em forma e tamanho e estariam em contínuo movimento. A adoção, por Platão e Aristóteles (que acrescentaria um quinto elemento, o éter) da teoria de Empédocles, e a rejeição teológica do atomismo, por contrariar o dogma da transubstanciação da Eucaristia, faria prevalecer, até o século XVIII, a teoria de Empédocles. O filósofo Epicuro desenvolveria a teoria atomista original, sustentando um número limitado de formas, mas um número infinito de átomos[159]. Os átomos cairiam perpendicularmente no espaço vazio devido a seu peso, e as interações entre eles, que produziam os corpos, resultavam de um desvio (movimento) aleatório que provocava colisões (choques). De acordo com a teoria, todos os corpos cairiam no vácuo com a mesma velocidade, sendo a diferença observada num determinado meio, devida à resistência do ar ao peso do corpo. Assim, o número infinito de átomos produziria um número infinito de universos no espaço infinito. A concepção atomista de Epicuro seria adotada pelo romano Lucrecio (98 ? - 55?), em *De Rerum Natura*, mas não prosperaria, por contrariar a Física aristotélica e a Teologia cristã. O texto incompleto da obra de Lucrecio seria estudado, no entanto, por vários autores, como Isidoro de Sevilha, Beda, Guillaume de Conches, Nicolau de Autrecourt, Gil de Roma e por árabes (Razés e Avicena) e judeus (Maimonides, 1311-1204).

Esse quadro se alteraria a partir da descoberta do texto completo do *De Rerum Natura*, em 1417, por Poggio Bracciolini, em um mosteiro[160]. O sacerdote e físico francês Pierre Gassendi, adepto da teoria atomista, seria o grande responsável pela divulgação dessas ideias no século XVII, que resultariam, no futuro, na rejeição da teoria dos quatro elementos. A adesão de importantes pensadores, como Francis Bacon (*Novum Organun*, II, Aforismo VIII), de físicos, como Galileu, Huygens e Newton, e de químicos, como Boyle, à teoria corpuscular, não significaria, porém, apoio

[159] CROMBIE, Allistair C. *Historia de la Ciencia.*
[160] CROMBIE, A. C. *Historia de la Ciencia.*

de tais cientistas à teoria atomista, nos termos propostos por Demócrito, Epicuro, Lucrecio e Gassendi. Autores, como Isaac Beeckman, colaborador de Descartes, na Física; o holandês Daniel Sennert (1572-1637) e Joachin Jung (1587-1657), na Química; e o médico inglês Walter Charleston (1620-1707) defendiam, igualmente, a existência de minúsculos corpúsculos formadores das substâncias. A filosofia mecanicista de Descartes, que identificava matéria e extensão, implicava necessariamente na impossibilidade do vácuo (extensão sem extensão) e de átomos (extensão indivisível); as partículas das matérias do sistema cartesiano não eram átomos, mas divisíveis ao infinito, e suas formas explicavam suas propriedades. A explicação mecânica para todos os fenômenos do Mundo sensível invalidava, também, a gravidade e a atração à distância. Leibniz, que rejeitou, igualmente, a gravidade e a atração à distância, como um retrocesso à Escolástica, negaria o vácuo com argumentos metafísicos, e o átomo pelo princípio da continuidade. Dada a grande influência da filosofia cartesiana nos meios científicos da época, a teoria atomista não teve grande penetração, mas seria objeto de estudos e de análise, o que lhe permitiria retornar, no futuro, como teoria alternativa à dos elementos.

O desconhecimento da constituição e estrutura da matéria inviabilizava uma noção exata e científica de suas propriedades, como ductibilidade, dureza, coesão, viscosidade, maleabilidade, elasticidade. Galileu, com suas experimentações, seria um pioneiro no estudo e na pesquisa na área da resistência dos materiais. Sobre o tema dedicou as duas primeiras jornadas de seu famoso *Discorsi* (1638), dando-lhe um tratamento experimental e matemático. Ainda que não tenha criado uma das novas Ciências a que se propunha, e, para alguns[161], sua contribuição para o entendimento do assunto teria sido medíocre, Galileu certamente buscou estabelecer as bases e iniciou o processo de entendimento da nova Ciência. Como escreveu Rossi, a iniciativa correspondeu a "um ato de nascimento de um novo saber: um corpo orgânico de teorias pode ser aplicado, pela primeira vez, à engenharia civil e militar e à ciência das construções"[162]. Desde o início, Galileu enalteceria o trabalho dos técnicos e a prática dos artesãos, pois reconhecia a contribuição dessas atividades em suas pesquisas dos efeitos ainda ocultos. A coesão dos sólidos e a resistência dos materiais são explicadas recorrendo à sua composição corpuscular, posto que existiria uma resistência à formação do vazio entre as partículas, como a de duas superfícies lisas em contato. Investigando a resistência dos corpos cilíndricos, descobriu Galileu a maior resistência dos cilindros ocos

[161] TATON, René. *La Science Moderne.*
[162] ROSSI, Paolo. *O Nascimento da Ciência Moderna na Europa.*

em relação aos maciços, quando suas áreas são iguais, o que explicaria, por exemplo, serem vazados os ossos do fêmur, da tíbia e de outros[163]. Prismas e cilindros que diferem em comprimento e sutileza oferecem uma resistência às rachaduras (ao suporte de peso nas extremidades) que é diretamente proporcional aos cubos dos diâmetros das suas bases e inversamente proporcional ao seu comprimento. Em seu trabalho, ressaltou, ainda, Galileu, a importância da escala de uma estrutura como fator determinante de sua resistência, demonstrando ser maior a resistência do modelo à da escala real. Um melhor, mas ainda imperfeito, conhecimento da Natureza e das propriedades da matéria se daria a partir da segunda metade do século XVII com Hooke (Lei da Elasticidade) e Boyle (elementos), prosseguindo, com crescente interesse e intensidade, por todo o período da Física Moderna.

Enquanto se registraram notáveis avanços teóricos e experimentais na Mecânica e na Óptica, outros campos da Física, afetos a fenômenos naturais, como o do Eletromagnetismo, o da Acústica e o do Calor, não tiveram equivalente progresso, permanecendo, durante o século XVII, em um estágio que vários autores chamam de proto-histórico[164]. Alguns estudos e pesquisas serviriam, apenas, de antecedentes importantes para o desenvolvimento desses campos no século seguinte.

Em consequência, nesse panorama geral, que pretende oferecer uma ideia de conjunto e da evolução da Física no século XVII, cabem, apenas, alguns comentários sobre esses campos menos dinâmicos desta Ciência, uma vez que os ramos da Mecânica e da Óptica merecerão, pela importância das pesquisas e do avanço teórico, um tratamento diferenciado.

6.7.3 Eletromagnetismo

No campo eletromagnético, desde a Antiguidade já eram conhecidos os efeitos da magnetita, que atrai peças de ferro, e do âmbar que, quando friccionado, também possui propriedade de atrair outros corpos. Havia, então, certa confusão entre Magnetismo (da magnetita) e Eletricidade estática (do âmbar, que em grego é *elektron*). William Gilbert, em sua obra *De Magnete* (1600), sobre Magnetismo, dedicaria um capítulo à Eletricidade estática. Para suas pesquisas construiu um rudimentar eletroscópio para detectar a carga elétrica: pequena agulha de ferro equilibrada em um ponto. Após esfregar diferentes corpos, examinava os efeitos elétricos sobre a agulha móvel. Nessa base, classificou os corpos em

[163] BARBOSA, Luiz Hildebrando Horta. *História da Ciência.*
[164] TATON, René. *La Science Moderne.*

duas categorias: os que se assemelham ao âmbar, como o vidro, o enxofre e certas resinas, e os outros que não reagem à fricção, como o cobre e a prata, ou seja, os isolantes e os condutores[165].

O italiano Niccolò Cabeo (1585-1650) acrescentaria (1629) às pesquisas de Gilbert que os corpos com carga elétrica se dispersavam ou se repeliam depois de atraídos[166]. O físico e engenheiro alemão Otto von Guericke, inventor da bomba de ar e estudioso do vácuo, inventaria, em 1663, o primeiro gerador de Eletricidade estática, o qual consistia de uma esfera de enxofre que girava, mediante uma manivela, em torno de seu eixo, ao mesmo tempo em que era friccionada com a mão ou uma flanela de lã. Von Guericke constataria, em 1672, que os corpos friccionados, além de poderes de atração, expeliam centelhas, as quais não foram reconhecidas como devidas à Eletricidade estática, mas a poderes dos corpos. Robert Boyle, em 1675, escreveu *Experiments and Notes about the Mechanical Origin or Production of Electricity*, no qual a atração elétrica era um "eflúvio material saindo do corpo elétrico e retornando a ele". O físico inglês Francis Hauksbee (1670-1713), que escreveu, em 1709, *Physico-Mechanical Experiments on Various Subjects*, construiu, em 1706, um gerador de esfera de vidro, mais eficiente que o de enxofre, de von Guericke, tendo realizado vários experimentos para determinar os efeitos da fricção. O brilho emitido pela parte vazia do tubo de um barômetro foi corretamente diagnosticado como sendo devido à fricção do mercúrio contra o vidro[167].

O trabalho de William Gilbert no campo do Magnetismo criou grande interesse pelo fenômeno, que parecia oferecer adequada resposta para certos problemas na área da Cosmologia. Assim, Kepler se utilizaria desse fenômeno da "atração à distância" para explicar sua Física do Universo, na qual as forças existentes entre o Sol e os planetas seriam de natureza magnética. Descartes, Huygens e Newton se interessaram pelo assunto, mas não aportaram nenhuma contribuição de nota para o estudo do fenômeno. No *Principia Phil*osophiae, Descartes descreveria o Magnetismo como resultado do deslocamento mecânico de partículas, rechaçando a ideia de vácuo e de atração à distância. Em 1687, Newton notaria que o Magnetismo era uma "força não universal".

---

[165] BARBOSA, Luiz Hildebrando Horta. *História da Ciência.*
[166] CROMBIE, A. C. *Historia de la Ciencia: de San Agustín a Galileo.*
[167] RONAN, Colin. *História Ilustrada da Ciência.*

6.7.4 Calor

No que se refere ao Calor, foram poucos e insuficientes os estudos e pesquisas, desde a Antiguidade até o século XVI, para esclarecer a natureza do fenômeno. Objeto de muita especulação, várias teorias seriam formuladas, sem, contudo, explicar satisfatoriamente tal fenômeno. Para alguns estudiosos, o Calor derivava de vibrações das partes de uma substância, outros defendiam ser o Calor um fluido imponderável, sem peso, outros, ainda, entendiam o Calor como um fluido que impregnava os espaços interatômicos da matéria, e alguns outros o julgavam uma substância indestrutível e impossível de ser criado por qualquer processo[168]. Esse fluido sutil, imponderável, chamado de "calórico", preencheria o interior dos corpos. A temperatura media a pressão ou a densidade do calórico contido em um corpo, e uma transferência de Calor entre dois corpos era interpretada como um escoamento de calórico no sentido decrescente de sua pressão[169]. Tal corrente prevaleceria e teria muitos adeptos até o século XIX.

Galileu, em *O Ensaiador*, afirmava ser o movimento a causa do Calor, rejeitando, assim, a ideia que considerava o Calor um atributo ou uma qualidade inerente da matéria: removido o corpo animado e sensitivo, do Calor não restava nada mais do que um simples vocábulo. Galileu ainda expressava a opinião de que o Calor seria causado por "uma multidão de corpúsculos mínimos, representados de forma indeterminada, movidos com extrema velocidade", sendo o seu contato com o nosso corpo "percebido por nós mediante um efeito que chamamos de Calor". O atomista Gassendi e o pensador Francis Bacon (o Calor resultaria da vibração de corpúsculos) também desenvolveram suas teorias sobre a natureza do Calor, enquanto Robert Boyle procedeu a experimentos, tendo produzido Calor pela fricção, mas erroneamente acreditava na materialidade do Calor. Haveria, portanto, muita especulação e várias teorias, mas nenhum real progresso no estudo científico do fenômeno[170].

Se a natureza do Calor permaneceu um mistério por todo o século XVII, avanços importantes foram registrados no campo da termometria, com a invenção e aperfeiçoamento dos termômetros. Há controvérsias sobre o inventor do termômetro. Para muitos, Galileu teria inventado o instrumento entre 1582 e 1603 (mas não há nenhuma referência ao instrumento em suas obras), outros consideram o médico Santorio, que o teria utilizado para fins

[168] TRATTNER, Ernest. *Arquitetos de Ideias.*
[169] BEN-DOV, Yoav. *Convite à Física.*
[170] ROUSSEAU, Pierre. *Histoire de la Science.*

médicos (conforme consta em seus comentários – 1612 – sobre Galeno), e alguns citam o holandês Cornelius Drebell (1572-1634).

Tais termômetros eram a ar, que, aquecidos, moviam a água, em uma haste com "graus" marcados. O instrumento, aperfeiçoado com a inclusão de dois pontos fixos – um ponto de ebulição e um ponto de congelamento, e com o álcool como líquido, por Olaf Römer, em 1708, passaria a ter uso científico, além de médico. Römer empregou uma mistura de água e gelo, e, depois, uma mistura de gelo e cloreto de amônio para obter o "zero"; para o ponto superior da escala, tomou a temperatura da água fervendo e dividiu espaço entre os dois em 60 graus[171]. O crédito, contudo, pela escala térmica é dado ao holandês Gabriel Daniel Fahrenheit (1686-1736), que fabricava termômetros, e que, em 1724, estabeleceria 212° como o ponto de ebulição da água e o 32° como o de congelamento. Além do termômetro a álcool (1709), Fahrenheit construiu o movido a mercúrio, em 1714. Menção especial cabe a Guillaume Amontons (1663-1705), que desenvolveu um termômetro a ar (1702) e publicou dois trabalhos sobre termometria (1702-1703). Desenvolveu, ainda, método de medir mudança na temperatura em função de mudança proporcional na pressão de volume e massas constantes de ar, o que levaria ao conceito de zero absoluto no século XIX.

6.7.5. Acústica

O campo da Acústica despertou interesse de vários conceituados cientistas do século XVII, podendo-se considerar ter havido mais avanços nessa área do que nas de Eletricidade e de Calor. O termo "acústica", derivado do grego *akouo* para "ouvir", foi cunhado pelo geômetra e físico francês Joseph Sauveur (1653-1716), que escreveu vários ensaios sobre a ciência do som.

Em seus estudos e experimentos sobre a relação da frequência de uma corda estendida e seu comprimento, tensão e densidade, Galileu descobriu que a altura dos sons dependia do número de vibrações na unidade de tempo, isto é, da frequência vibratória: quanto mais alta a frequência, mais agudo o som. Assim, rejeitaria a concepção corrente de que o tom de uma nota emitida por um instrumento de corda dependia do comprimento dessa corda, defendendo que a frequência das oscilações era responsável pela tonalidade dos sons (*Discorsi* – 1638). As vibrações sonoras estremeciam o ar, cujas ondas, assim formadas, propagavam o

[171] RONAN, Colin. *História Ilustrada da Ciência.*

som[172]. Fracassariam, contudo, seus esforços, por falta de adequados recursos para determinar a velocidade do som. Experiências diversas indicavam divergências: para a Accademia del Cimento, a velocidade seria de 355 metros por segundo; para Gassendi, de 471 metros; e para a Academia de Ciências de Paris, de 382 metros[173].

Os franceses Marin Mersenne e Pierre Gassendi reconheceriam que o som, grave e agudo, se propagava com igual velocidade, ao contrário do que pensava Aristóteles[174], para quem as notas altas se propagavam mais rapidamente que as notas baixas. Mersenne escreveu *Harmonicum Liber* (1636) e mediria, por primeira vez, a frequência de um som musical, e o atomista Gassendi entendia o som como uma corrente de minúsculas partículas invisíveis que se propagavam no ar desde seu lugar de emissão. Malebranche (1638-1715) relacionaria a amplitude das vibrações com a tonalidade dos sons.

A necessidade do ar para o som se propagar já era afirmada pelos antigos, mas sua demonstração experimental se deveu a Otto von Guericke, físico e engenheiro alemão envolvido em pesquisas no campo da Eletricidade estática. Sob o argumento de que o som se propagava melhor quando o ar está mais calmo que na ventania, von Guericke procedeu a experimentos, mediante uma máquina pneumática, provando o progressivo amortecimento e a final não transmissão do som, à medida que ar se tornava mais rarefeito. Papin (1647-1712) e Boyle repetiriam a experiência de von Guericke com uma bomba de ar mais aperfeiçoada, comprovando que o som diminuía à medida que o ar era bombeado para fora do recipiente.

Robert Hooke aperfeiçoou aparelhos, de forma a estabelecer uma ligação entre a frequência da vibração e o som emitido. Newton elaborou uma teoria ondulatória do som. Comparou "a propagação do som com a das vibrações produzidas quando um corpo oscilante desloca as porções adjacentes do meio circundante" (*Principia*, 2° Livro), e introduziu a hipótese de as partículas que compunham o fluido serem sempre submetidas a um movimento "acelerado ou retardado de acordo com as leis do pêndulo oscilante". Newton considerou, ainda, que o meio elástico é sujeito à pressão produzida por um meio homogêneo de densidade igual à do meio considerado, o que permitiria deduzir a velocidade do som[175].

---

[172] BIEZUNSKI, Michel. *Histoire de la Physique Moderne.*
[173] ROUSSEAU, Pierre. *Histoire de la Science.*
[174] BARBOSA, Luiz Hildebrando Horta. *História da Ciência.*
[175] BIEZUNSKI, Michel. *Histoire de la Physique Moderne.*

6.7.6 Mecânica

Os diversos estudos e pesquisas, ao longo dos séculos, no campo da Mecânica estática e dos fluidos (I) não contrariavam os princípios da Física adotados desde os tempos gregos, como é o caso dos trabalhos de Arquimedes, cujo prestígio nos meios acadêmicos e intelectuais, a partir da segunda metade do século XVI, não afetaria a validade da obra de Aristóteles; bastante diferente, contudo, seria o desenvolvimento da Dinâmica (II), a qual se estruturaria em novas bases.

6.7.6.1 Estática

No campo da Estática, o princípio da alavanca e sua aplicação às polias e às balanças, a noção de momento (efeito giratório de uma força), o cálculo do centro de gravidade de muitas superfícies planas e de sólidos, e, até mesmo, a noção de trabalho virtual foram razoavelmente abordados na Antiguidade clássica, conforme escreveu o já citado Horta Barbosa. Nenhuma contribuição de monta se registrou no terreno conceitual ou experimental, na Estática, no período do Renascimento Científico, se bem que Jordano Nemorarius deva ser mencionado por seus estudos (*De Ratione Ponderis,* publicado em 1565) sobre equilíbrio em planos inclinados[176].

Esse quadro começou a se alterar, de forma significativa, no século XVI, graças à publicação (1558) do texto completo da obra de Arquimedes e a dois pioneiros: o italiano Gianbattista Benedetti (1530-1590), que estabeleceu o princípio do equilíbrio hidrostático, ou seja, os líquidos, em vasos comunicantes, se mantêm no mesmo nível, ou em equilíbrio (*Diversarum Speculationum*, 1585), e o belga Simão Stevin (1548-1620), autor de *Statique et Hydrostatique* (1586), e considerado "um novo Arquimedes"[177]; além de provar a impossibilidade, no meio terrestre, do movimento perpétuo, estabeleceu Stevin a lei do equilíbrio de pesos quaisquer sobre planos de inclinações diversas, e, na hidrostática, estudou a pressão da água sobre o fundo de um recipiente, concluindo que nem a forma, nem o volume, mas a altura da coluna do líquido, determinava a pressão; Stevin estudou, igualmente, a pressão exercida pelo líquido sobre as paredes do vaso que o contém. Seus trabalhos sobre Estática apareceriam reunidos na obra, publicada em 1608, intitulada *Hypomnemata Mathematica*.

[176] CROMBIE, Allistair. C. *Historia de la Ciencia.*
[177] TATON, René. *La Science Moderne.*

Avanços significativos no campo da Estática se registrariam no século XVII, a partir dos trabalhos de René Descartes e de Blaise Pascal, pioneiro, também, nos estudos sobre a pressão atmosférica.

A principal contribuição de Descartes à Estática se refere à força estática, resultante do produto do peso pela altura. Em carta de 1637 (citada por Taton) a Constantino Huygens, esclareceu Descartes que a mesma força que levanta um peso de 100 libras a 2 pés de altura pode também levantar um de 200 libras a 1 pé e 400 a 1/2 pé. Desta forma, o efeito deve ser sempre proporcional à ação necessária para produzi-lo.

Pascal, sem conhecimento dos trabalhos de Stevin, concluiu, em seus estudos sobre o comportamento dos fluidos (*Traité de l'Équilibre des Liqueurs*, 1667), que a pressão age uniformemente através de um fluido, ou seja, o princípio de que "em um líquido em repouso ou em equilíbrio as variações de pressão se transmitem igualmente e sem perdas para os pontos da massa líquida". A pressão aumenta progressivamente com a profundidade, e age perpendicularmente às superfícies que limitam o líquido[178]. Esse é o princípio da prensa hidráulica. Ao mesmo tempo, Pascal esclareceria o chamado "paradoxo hidráulico", pelo qual o fluido pode exercer sobre o fundo do recipiente que o contém uma pressão várias vezes superior a seu peso.

O inglês Robert Hooke (1635-1703), diretor do Departamento de Pesquisas da Sociedade Real, foi extremamente ativo em vários campos: fez observações astronômicas, construiu bombas de ar, estudou a gravidade, desenvolveu uma teoria ondulatória da luz, foi professor de Geometria e notabilizou-se por sua "lei da elasticidade", pela qual a elasticidade dos corpos sólidos é proporcional à força aplicada. Nos estudos sobre a ação das molas, concluiu que a força que faz voltar a mola (ou qualquer sistema elástico) à sua posição inicial de equilíbrio é proporcional ao afastamento da posição de equilíbrio. Descobriu, ainda, que a mola espiral se distende e se contrai em torno da posição de equilíbrio em períodos de tempo iguais, independentemente da distância percorrida nesse movimento de vai e vem. A descoberta do "cabelo de relógio" tornou possível a medição de períodos muito curtos de tempo, e, pela eliminação do pêndulo, possibilitaria a fabricação de relógios de pulso e dos cronômetros marítimos. Com esses estudos, Hooke abriu caminho para futuros trabalhos sobre tensão e materiais elásticos.

As experiências no campo da Estática e do Calor propiciariam a engenheiros, no final do período, a construção de máquinas a vapor d'água, primeiro passo para a futura revolução industrial. Nesse sentido, devem ser lembrados os nomes dos pioneiros Daniel Papin (1647-1714), engenheiro

[178] TATON, René. *La Science Moderne.*

e inventor francês, que descreveu, em 1687, uma máquina a pistão para bombear água, e, em 1707 construiu um barco a vapor e escreveu sobre sua teoria do funcionamento de uma máquina a pistão; do inglês Thomas Savery (1650-1716), que patenteou, em 1698, sua máquina atmosférica, a qual funcionava pelo efeito combinado do vapor d'água e da pressão atmosférica; e do engenheiro inglês Thomas Newcomen (1663-1729), que se juntou a Savery, e, em 1705, construíram juntos a primeira máquina a vapor.

6.7.6.2 Dinâmica

A evolução experimental e conceitual da Dinâmica no século XVII seria bastante diferente dos avanços no terreno da Estática, a qual não suscitou nenhuma questão polêmica. Única parte contestada da Mecânica aristotélica, a Dinâmica, em vista da aparente e inegável contradição entre os fundamentos teóricos e a realidade observável do movimento dos projéteis, seria alvo de controvérsias no campo filosófico, pela rejeição das bases conceituais da Dinâmica antiga, no que resultaria na formulação e estruturação da chamada Dinâmica Moderna.

Desde a Antiguidade, os engenheiros e os atiradores sabiam, por experiência, que a trajetória de um objeto catapultado não comprovava as teorias sobre o papel do ar no movimento, pois em vez de conservá-lo, freiava-o. A invenção do fogo grego, pelos bizantinos, e sua utilização contra os árabes, em 678, aumentou o interesse em compreender o fenômeno do movimento, e, por conseguinte, como se processava a queda do objeto[179]. O emprego de armas de fogo, a partir de 1338, na Guerra dos Cem Anos, daria a Jean Buridan, reitor da Universidade de Paris, a oportunidade de desenvolver sua teoria do ímpeto, a qual não abalaria, contudo, os fundamentos da Dinâmica antiga. Seu principal mérito residiu em ter suscitado novos estudos sobre a Mecânica teórica, como os de Alberto de Saxe e Oresme sobre a queda dos corpos. A Mecânica aristotélica permaneceria de aceitação generalizada, inclusive nos meios intelectuais e acadêmicos.

No final do Renascimento Científico, o panorama começaria a se alterar, a partir da tradução latina (1558) da obra de Arquimedes, do desenvolvimento da Matemática (Álgebra, Trigonometria), dos avanços técnicos, invenções, inovações e aperfeiçoamento de instrumentos de precisão e medição, dos estudos e descobertas na Astronomia/Cosmologia e da crescente utilização da experimentação e da quantificação nas

[179] ROSMORDUC, Jean. *Uma História da Física e da Química.*

pesquisas dos fenômenos físicos[180]. Vários estudiosos e pesquisadores contribuíram para a busca de adequadas e objetivas respostas no campo da Dinâmica, como Nicolau de Cusa, Leonardo da Vinci, Domingo Soto, Nicolau Tartaglia, Girolamo Cardano, Giambattista Benedetti, Guidobaldo del Monte e Simon Stevin, que, contudo, não foram capazes de formular uma alternativa válida, coerente, racional, lógica e demonstrável à Dinâmica aristotélica.

6.7.6.2.1 Galileu

Coube a Galileu a glória de ter fundado a nova Ciência da Mecânica, a qual, ao longo do século XVII, se estruturaria, ao serem estabelecidos axiomas, preceitos e princípios, ao serem introduzidos novos conceitos ou noções, e ao serem explicitadas suas leis gerais. Como explicaram Dugas e Costabel[181], a nova Ciência objetivava, por meio do exame da queda dos corpos, a solução do problema do movimento de um projétil na ausência da resistência do meio (vácuo), que, por sua vez, seria o ponto de partida para a edificação da nova Ciência, em bases distintas da tradicional, sustentada pelos escolásticos. As fundamentais contribuições de cientistas e pesquisadores do quilate de Kepler, Pascal, Torricelli, Descartes, Hooke e Huygens levariam Newton, considerado o fundador da Física Moderna, a reconhecer que "se vira mais longe foi porque se apoiara em ombros de gigantes". A nova Mecânica se constituiria de conceitos novos, como os da inércia, forças, massa e peso, enquanto se esclareceriam as noções de gravidade, de centro de gravidade, forças centrípeta e centrífuga, elasticidade, oscilação, entre outras. As três famosas leis da Mecânica de Newton (da inércia, da aceleração, e da ação e reação) coroariam o processo de formação da nova Ciência. Nessa renovação da Mecânica no século XVII, dois conceitos fundamentais da Física – o do tempo absoluto e o do espaço absoluto – seriam explicitados na Física Moderna por Newton.

A obra fundamental e definitiva de Galileu, marco na fundação da Mecânica Moderna, seria o famoso *Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno a due nuove scienze attenanti alla meccanica e ai movimenti locali*, seria contrabandeada para a Holanda protestante e publicada na cidade de Leiden, em 1638, a fim de contornar a proibição eclesiástica de publicação das suas obras. Outros trabalhos de especial importância foram o *Dialogo sopra i due massimi sistemi del mondo* (*Diálogo sobre os Dois Sistemas do*

[180] TATON, René. *La Science Moderne.*
[181] TATON, René. *La Science Moderne.*

Mundo), começado em 1623, mas publicado em 1632, que motivaria o famoso processo inquisitorial, e *Il Saggiatore* (*O Ensaiador*), de 1623.

O primeiro trabalho de Galileu sobre Dinâmica seria o *De Motu* (Do Movimento), escrito em Pisa, entre 1589 e 1591. Nele, o autor discutia as causas dos (supostos) atributos do movimento, como e porque o movimento natural (cadente) é mais rápido no final que no começo, enquanto o movimento violento (ascensional) é mais rápido no início. O argumento era que, no mesmo meio, todos os objetos da mesma substância caem à mesma velocidade; relativamente a materiais diferentes, a velocidade da queda estava relacionada com a razão entre a densidade do material e a densidade do meio (a leveza da cortiça faz com que ela caia mais lentamente no ar que a pedra, e flutue na água, onde a pedra se afunda, mais devagar que o chumbo)[182]. Desta forma, já em oposição a Aristóteles, defenderia Galileu que todos os corpos são intrinsecamente pesados, e que a leveza é somente uma propriedade relativa: o fogo sobe porque é menos pesado que o ar. Obra da juventude, o *De Motu* adotava, contudo, a Física do ímpeto, na tradição dos mecânicos dos séculos XIV a XVI, e era fiel ao conjunto da Física antiga.

Os conceitos de Galileu evoluiriam, no entanto, de maneira bastante rápida, como atesta seu trabalho *De Mecaniche* (*Da Mecânica*), de 1596, no qual sugeriu a ideia da inércia: num plano horizontal, sem atrito, um corpo conservaria o seu movimento indefinidamente, e quando em repouso, a menor força bastaria para pô-lo em movimento. Em 1602, em carta a Guidobaldo del Monte, mencionaria Galileu sua descoberta do isocronismo do pêndulo, em que o período de cada oscilação é independente de sua amplitude. Por volta de 1603, Galileu descobriria que o importante no movimento num plano inclinado era a maneira como a velocidade aumentava, ou como se processava a aceleração em sucessivos intervalos de tempos iguais. Em carta a Paolo Sarpi, em 1604, daria conta de seus estudos sobre a queda dos corpos, e a Antonio de Médici, em 1609, já mencionava sua nova teoria de que os projéteis descreveriam uma curva do tipo parábola, em que a componente horizontal do movimento era uniforme e a vertical acelerada.

A observação, a olho nu, da supernova de 1604, e suas extraordinárias descobertas astronômicas, com a ajuda da luneta, em 1609/1610, confirmariam sua convicção dos equívocos da Física escolástica. Não se justificava mais a divisão em Mundo sublunar e supralunar, na medida em que ambos eram mutáveis. A Terra era apenas mais um planeta num sistema heliocêntrico, dotada de movimento de translação em volta do Sol e de rotação em torno de

---

182 HALL, A. Ruppert. *A Revolução na Ciência – 1500-1750.*

seu eixo. A aceitação generalizada dessa Cosmologia pelos meios intelectuais da época dependia, contudo, de explicações de certos fenômenos não perceptíveis aos sentidos humanos, como o alegado movimento da Terra, pois, se verdadeiro, deveria arremessar os objetos na superfície do planeta para fora de sua órbita.

O imobilismo da Terra no sistema geocêntrico era um dogma que impedia a aceitação do heliocentrismo, no qual o Globo terrestre efetuava os movimentos de translação e rotação. Os defensores do modelo ptolomaico[183] apresentavam uma série de objeções ao movimento terrestre, como i) o de não ser percebido pelos sentidos, ii) as casas e as árvores deveriam ser arrancadas de seus alicerces e raízes pela força centrífuga provocada pela rotação, iii) as balas de um canhão disparadas para o Ocidente deveriam ter uma trajetória mais longa do que aquelas disparadas em direção ao Oriente, iv) deveria ocorrer desvio para o Oriente dos corpos lançados ao ar em queda livre, v) dever-se-ia sentir sempre, no rosto, um vento proveniente do Oriente, vi) as nuvens e os pássaros em voo deveriam ter um atraso em seus deslocamentos.

No *Dialogo sobre os Dois Sistemas*[184], do qual são participantes Salviati (copernicano), Simplicio (escolástico) e Sagredo (arguto, sem preconceitos), apresentaria Galileu sua refutação a essas objeções, de natureza científica. Salviati declararia ser impossível, por meio da experiência, concluir se a Terra estava em repouso ou em movimento, porque, no interior de um sistema em movimento uniforme, os acontecimentos dinâmicos ocorrem como se o sistema estivesse em repouso. Os movimentos celestes são percebidos pelo observador na Terra porque ele se encontra fora do sistema em movimento dos corpos celestes observados, enquanto que os movimentos da Terra não são percebidos por seus habitantes por participarem eles dos mesmos movimentos. "Ele fica totalmente imperceptível como se não existisse", declarou Salviati. Seu exemplo famoso é o de que uma cômoda, situada sob o convés de um navio, no qual há moscas e borboletas, um vaso de água com peixe dentro e um pequeno balde do qual cai água, gota após gota, dentro de outro vaso de boca pequena, se o navio se move a qualquer velocidade uniforme não se notaria nenhuma mudança, mesmo mínima, em todos os referidos pormenores, nem por meio deles se poderia perceber se o navio se move ou está parado. Assim, um movimento comum a todos os corpos em um sistema não exerce qualquer influência sobre o comportamento recíproco desses corpos, e, por conseguinte, nunca pode ser demonstrado

---

183 HALL. A. Ruppert. *A Revolução Científica – 1500-1750.*

184 ROSSI, Paolo. *O Nascimento da Ciência Moderna na Europa.*

no interior do sistema. A pedra largada no alto do mastro de um navio, em translação retilínea e em velocidade constante, cai, assegurava Galileu, ao pé do mastro, como se o navio estivesse imóvel, afirmativa comprovada experimentalmente por Gassendi, em 1640.

A explicação científica de Galileu se constitui no "princípio da relatividade do movimento", pelo qual as translações são independentes, em que cada uma ocorre como se as outras não existissem[185]. Esse princípio e outras descobertas de Galileu (queda dos corpos, aceleração, movimento dos projéteis, isocronismo do pêndulo) seriam cruciais para a nova Ciência, a Mecânica terrestre (movimentos locais), fundamentais para o entendimento da Dinâmica clássica.

O ponto de partida para a compreensão das novas bases da Dinâmica e de suas descobertas nesse campo da Mecânica seria o entendimento das ideias de Galileu sobre o estudo e as pesquisas do fenômeno do "movimento dos corpos". Deve-se compreender, de início, não rejeitar Galileu a distinção aristotélica dos movimentos naturais e violentos, bem como aceitar o caráter natural do movimento circular e a impossibilidade de um movimento retilíneo constante[186]. O movimento circular seria o movimento por excelência, que não requereria explicações, em que o movimento parte sempre de um ponto natural e se move sempre rumo ao mesmo, tornando-se, assim, interminável. Somente o movimento circular convém, por natureza, aos corpos naturais, que constituem o Universo ordenado (Galileu jamais aceitou o movimento elíptico dos astros em torno do Sol, descoberto por Kepler). Ao mesmo tempo, o movimento retilíneo infinito seria impossível, por natureza, já que "não se move para onde é impossível chegar, não havendo um término predeterminado" (*Discorsi*).

A metafísica Filosofia medieval, que explicava os "porquês" dos fatos e realçava o princípio da causalidade final, seria abandonada por Galileu, que concentraria sua análise matemática no "como" os objetos se moviam. Essa rejeição explícita dos ensinamentos escolásticos determinaria a grande mudança conceitual da explicação do fenômeno, cuja causa passaria a ser a força (ou forças). Em consequência, os estudos do movimento deveriam ter como objeto a análise de como atuavam essas forças causais. Reconhecia, ainda, Galileu, nada se saber sobre a natureza íntima dessas forças, ou de sua essência, mas só se conhecerem seus efeitos quantitativos em termos de movimento (*Diálogo*). Galileu se dedicaria ao estudo desses efeitos da atuação das forças, sem se preocupar, nem tentar, desvendar o mistério da natureza dessas forças. No dizer de Burtt,

185 BARBOSA, Luiz Hildebrando Horta. *História da Ciência.*
186 ROSSI, Paolo. *O Nascimento da Ciência Moderna na Europa.*

> em uma era em que a especulação descontrolada era a ordem do dia, encontramos um Homem com suficiente autocontenção para deixar sem respostas certas perguntas, considerando-as como além do domínio da ciência positiva. Esse toque de agnosticismo em Galileu impressiona... como uma marca de gênio, superior mesmo às suas maravilhosas realizações construtivas[187].

Todo movimento, que não fosse simples e natural, deveria ser expresso em termos de força, sua causa primária (a gravidade é um exemplo), enquanto os corpúsculos diminutos (átomos) seriam tratados como causa secundária. A teoria atomista da matéria, adotada por Galileu, admitia a matéria decomposta em átomos indivisíveis, por meio dos quais podia explicar as transformações do sólido em líquido e gases, e resolver problemas de coesão, expansão e contenção. Tais átomos, para Galileu, tinham apenas qualidades matemáticas, e era a operação de seus movimentos variados sobre os sentidos que causava experiências secundárias, como explica o já citado Burtt. Os corpos em repouso não adquiririam movimento por si sós, que resultaria de algum movimento, ou combinação de movimentos, anterior como causalidade. Desta forma, "só se pode com propriedade denominar causa aquela em cuja presença o efeito sempre se produz e com cuja retirada o efeito desaparece" (*Diálogo*). Além do mais, qualquer alteração só pode ser devida à presença de algum fato novo no movimento ou movimentos que constituem a causa.

Ao estudar como acontecia o movimento, Galileu evidenciaria os conceitos de "espaço" e de "tempo", pois no tratamento matemático do "movimento" tornava-se inevitável analisá-lo em distâncias percorridas em certas unidades de tempo. Sua afirmativa, no *Discorsi*, com o intuito de medir o movimento, de que "velocidades iguais ocorrem quando espaços percorridos se encontram na mesma proporção que os tempos empregados para percorrê-los" indica claramente que a Análise matemática do movimento passaria, portanto, a se basear em dois fatores, o tempo e o espaço, excluindo-se todos os demais. Isto significava que o Mundo real era um Mundo de corpos em movimento no espaço e no tempo, redutíveis matematicamente; em outras palavras, o Mundo real era um Mundo de movimentos matematicamente mensuráveis no espaço e no tempo[188].

Nesse processo criativo, desenvolveria Galileu uma nova terminologia com vistas a dar à Matemática um lugar especial no exame do fenômeno. Era o que chamou de uma nova Ciência matemática (Mecânica

[187] BURTT, Edwin A. *As Bases Metafísicas da Ciência Moderna.*
[188] DUGAS, René. *A History of Mechanics.*

terrestre), que substituiria a Dinâmica qualitativa dos escolásticos. Utilizando-se de termos ainda imprecisos, como força, resistência, momento, velocidade e aceleração, Galileu daria um significado matemático exato a esses conceitos, tão claro quanto as definições de linha, ângulo, curva e figuras[189].

A inércia, como escreveu Ruppert Hall, é a primeira propriedade mecânica; todo corpo possui inércia que produz resistência a mudanças em seus movimentos. Seu conceito moderno, vislumbrado por Galileu, seria refinado por Newton, e é objeto da 1ª Lei do Movimento (o corpo continua em estado de repouso ou de movimento retilíneo uniforme até que intervenha uma força para modificar tal estado). Para Galileu, não poderia ocorrer mudança de movimento sem uma causa (força) que a efetuasse. Só o repouso ou o movimento (circular) uniforme poderiam ser compatíveis com a ausência de causa. Por não poder conceber um corpo privado de gravidade, Galileu utilizaria planos inclinado e horizontal para eliminar seus efeitos[190]. No *Discorsi*, escreveria que o movimento no plano horizontal é equitativo, já que não existe qualquer causa de aceleração ou retardamento; uma esfera colocada em repouso no plano horizontal permaneceria em repouso, mas um impulso em qualquer direção faria com que ela se movesse na direção do impulso, mantendo sempre a mesma velocidade que recebera inicialmente. Em outras palavras, Galileu explicaria que um corpo pousado em um plano horizontal, e perfeitamente liso, se encontraria indiferente ao movimento e ao repouso, e não apresentaria nenhuma tendência própria a se mover ou a resistir a ser posto em movimento. Por essa indiferença, se o corpo está em movimento, ele não terá nenhuma razão para parar ou variar seu movimento, o qual, em um plano infinito hipotético, deverá ser uniforme e continuar para sempre.

No *Diálogo*, elaboraria Galileu sua teoria da queda dos corpos, assunto que tratara no *Do Movimento*, no *Da Mecânica* e em carta a Paolo Sarpi (1604). Já no final do século XVI, se admitia que, caso se perfurasse o Globo terrestre e caso se jogasse no buraco uma esfera, o objeto seguiria seu movimento até a outra extremidade do Globo. Galileu considerava que o primeiro movimento, descendente até o centro do Globo, e o segundo movimento, ascendente do centro até a outra extremidade, poderiam ser explicados pelo mesmo princípio. *No Diálogo*, a afirmativa de Simplicio, de que a causa do movimento descendente era a gravidade, seria corrigida por Salviati, ao esclarecer que se denomina essa causa de gravidade, mas

---

[189] BURTT, Edwin A. *As Bases Metafísicas da Ciência Moderna.*
[190] TATON, René. *La Science Moderne.*

que sobre sua natureza e essência nada se sabia. Na realidade, não haveria diferença entre "gravidade" e "leveza", pelo que a queda dos corpos e a ascensão de um projétil deveriam ser explicadas pelo mesmo princípio fundamental. Utilizando-se da oscilação do pêndulo, Galileu afirmaria que o movimento ascendente é uma réplica, em sentido contrário, do movimento para baixo.

Outra grande contribuição de Galileu à Mecânica foi a de que a aplicação contínua de uma força produz, a cada instante, um aumento ou diminuição da velocidade. Este conceito de aceleração (variação de velocidade num certo intervalo de tempo) contrapunha-se ao princípio aristotélico, segundo o qual os corpos terrestres tendiam, por sua própria natureza, a ganhar mais velocidade no transcurso da queda para chegar mais rapidamente ao seu lugar natural, ou a um estado de repouso logo que atingissem sua posição ou seu lugar natural. No *Do Movimento* (1595), Galileu ainda aceitaria os conceitos de peso e de movimento para baixo devido ao peso. A velocidade da queda era explicada em função da densidade e do peso específico dos corpos. No *Discorsi* (1638), o enfoque já seria totalmente diferente. Seu intento[191] era descobrir uma definição de movimento acelerado de modo uniforme que fosse congruente com aquela forma de aceleração dos corpos pesados, como acontece na natureza. Em lugar de investigar as causas, Galileu examinaria a questão do ponto de vista cinemático, isto é, a velocidade seria concebida como diretamente proporcional ao tempo transcorrido. Uma pedra que cai do alto, a partir de uma posição de repouso, adquire progressivamente novos incrementos de velocidade; tais incrementos ocorreriam de forma simples e óbvia na Natureza. Mediante a mesma subdivisão do tempo, poderíamos conceber, continua Galileu, que os incrementos de velocidade ocorrem com a mesma simplicidade. Com base nesse raciocínio, Galileu estabeleceria que "resulta uniforme e continuamente acelerado aquele movimento que, em tempos iguais, adquire mudanças de velocidade iguais". Ainda no *Discorsi*, Galileu explicaria que "se um móvel, partindo da posição de repouso, desce com um movimento uniformemente acelerado, os espaços percorridos por ele, em quaisquer tempos, estão entre si em relação igual aos quadrados dos tempos". Movimento uniformemente acelerado seria, pois, aquele movimento que, abandonando o repouso, soma em si iguais momentos de rapidez em tempos iguais (*Discorsi*). A afinidade, assim, de tempo e movimento é um dos fundamentos da teoria dos movimentos dos corpos.

Galileu explicaria sua demonstração com a famosa narração de que teria utilizado um pequeno canal inclinado, retilíneo, bem polido e liso,

[191] ROSSI, Paolo. *O Nascimento da Ciência Moderna na Europa.*

dentro do qual fez descer uma bola de bronze duríssima, bem arredondada e lisa. A experiência comprovaria que "a aceleração dos corpos pesados descendo naturalmente procede na proporção referida anteriormente".

Assunto da maior relevância nos estudos de Galileu sobre o movimento seria o da determinação da trajetória de um projétil[192]. A crença, na Idade Média e no Renascimento Científico, era a de que o projétil se movia, inicialmente, para cima, ao longo de uma reta inclinada até que se esgotaria a força do ímpeto, seguindo-se um arco de círculo, caindo então o objeto verticalmente para seu lugar natural, o centro da Terra. As pesquisas, até o século XVI, foram insuficientes para oferecer uma explicação sobre a trajetória de um projétil que não se baseasse na teoria do ímpeto.

Galileu trataria o assunto na 4ª jornada do *Discorsi*. O objeto lançado sobre um plano horizontal infinito prosseguiria, na ausência de obstáculos, seu movimento uniforme; porém, em um plano limitado, quando o objeto, submetido à gravidade, ultrapassa a extremidade do plano, "ele acrescentará a seu movimento uniforme e indestrutível a propensão para baixo, resultante da gravidade". O projétil realizará, então, o "movimento composto" de movimento horizontal (espaços iguais em tempos iguais) e de movimento vertical (uniformemente acelerado), idêntico ao da queda livre dos corpos, independente e sem interferência mútua. Dessa combinação do princípio da inércia com o do movimento composto e o da independência dos efeitos das forças, Galileu determinaria a velocidade, a altura, a trajetória e a dimensão do movimento do projétil[193]. A trajetória efetiva descrita pelo projétil – anunciaria Galileu – é um "arco de parábola de eixo vertical", curva essa já conhecida dos antigos matemáticos gregos. No caso de um projétil atirado numa oblíqua, determinou ainda Galileu que o alcance máximo é obtido quando a direção do tiro faz um ângulo de 45° com o horizonte[194].

Consta ter Galileu descoberto o isocronismo das oscilações do pêndulo em 1583, ao contemplar o movimento dos lustres da Catedral de Pisa. A verdadeira lei do pêndulo, em que o período da oscilação é independente do arco descrito e proporcional à raiz quadrada da longitude (proporcionalidade do quadrado do período ao comprimento do fio), apareceria apenas em 1638, no *Discorsi*. Em 1641, pouco antes de falecer, Galileu manifestaria sua intenção de aplicar o pêndulo na regulação de um relógio. No *Discorsi*, Galileu escreveria que mesmo diminuído o comprimento do pêndulo no momento em que ele se encontra na vertical,

---

192 BARBOSA, Luiz Hildebrando Horta. *História da Ciência.*
193 ROSSI, Paolo. *O Nascimento da Ciência Moderna na Europa.*
194 BARBOSA, Luiz Hildebrando Horta. *História da Ciência.*

colocando-se um cravo, a massa móvel subirá, contudo, ao mesmo nível. Essa demonstração ilustraria que "as velocidades adquiridas por um corpo grave na descendente sobre planos diversamente inclinados são iguais". Essas considerações seriam retomadas por Huygens: a velocidade adquirida na queda numa vertical ou num plano inclinado é, a cada instante, a mesma, o que permitirá, em sentido contrário, de se elevar ao nível do ponto inicial.

6.7.6.2.2 Descartes

No campo da Mecânica, após os estudos pioneiros de Galileu sobre as causas (forças) dos movimentos, a primeira grande contribuição seria a de Descartes. A Mecânica de Descartes, exposta, principalmente, na *Dióptrica* (1637), apensa ao famoso *Discurso sobre o Método*, era fruto de sua concepção filosófica do Universo, a qual teria grande influência desde sua divulgação nos meios intelectuais da Europa. O Universo cartesiano era concebido como derivado da matéria extensa, isto é, a matéria reduzida à extensão (comprimento, largura e profundidade), que constituiria tanto a matéria quanto o espaço ocupado (corpo material). O espaço e a matéria seriam, assim, a mesma coisa. A matéria (extensão) se comporia de partículas contíguas de formas geométricas diversas, mas nunca esféricas, em que o Mundo seria finito e pleno, ou seja, repleto de matéria, no qual o vazio não existiria, pois se existisse, seria um "nada existente", ou uma "realidade contraditória". Deus colocaria também em movimento as coisas dotadas de extensão no começo dos tempos, mantendo-se constante a quantidade de movimento no Universo. O movimento era, portanto, tão natural a um corpo quanto o repouso, pelo que o Mundo de corpos com extensão seria uma vasta máquina. Desta forma, na concepção cartesiana, o Universo deve ser entendido como um *plenum* dotado de extensão, no qual o movimento de suas partes é comunicado às demais pelo impacto imediato[195]. Posto ser Deus a causa primeira do movimento e suas resultantes ocorrerem *in aeternum*, como uma máquina, não haveria necessidade de recorrer, como Galileu, à força como causa para explicar os movimentos. Tudo aconteceria com regularidade, precisão e inevitabilidade de uma máquina, a partir do movimento inicial criado por Deus. O movimento não seria, portanto, um processo, mas um estado do corpo.

Movimento e Matéria (extensão) seriam, assim, os dois únicos elementos que constituiriam o Mundo[196], cuja formação seria explicada

[195] BURTT, Edwin. *As Bases Metafísicas da Ciência Moderna.*
[196] HALL, A. Ruppert. *A Revolução na Ciência – 1500-1750.*

por leis mecânicas. Sendo o movimento e o repouso naturais, deduziria Descartes sua 1ª Lei da Natureza (inércia), segundo a qual "cada porção da matéria continua sempre no mesmo estado, enquanto o choque das outras não a constrange a mudá-lo". Ressalte-se que Newton, ao formular sua 1ª lei do movimento (inércia), deu todo o crédito a Galileu, silenciando sobre a contribuição de Descartes no particular. Como não haveria perda de quantidade de movimento no Universo, Descartes formularia sua 2ª lei da Natureza, pela qual "quando um corpo impele outro, não lhe transmite nenhum movimento sem perder outro tanto do seu e também nenhum lhe tira sem que o seu não seja aumentado de outro tanto". A 3ª lei da Natureza cartesiana se refere ao movimento natural retilíneo: "quando um corpo se move, embora seu movimento se faça, o mais das vezes, em linha curva, cada uma de suas porções, em particular, tende sempre a continuar o seu caminho em linha reta". Quanto ao movimento circular, diria Descartes que este revelaria uma "tendência de se afastar constantemente do círculo que é descrito", opondo-se, assim, ao mito, desde a Antiguidade, da sua perfeição.

Descartes examinaria, igualmente, a questão da queda livre dos corpos pesados, em 1629, concluindo, contudo, pela velocidade do corpo em função do espaço percorrido, e não do tempo transcorrido. Inspirando-se em Arquimedes, expressaria Descartes: "dê-me o Movimento e a Matéria e eu farei um Mundo".

O cartesianismo faria, de imediato, vários adeptos, como o professor Jacques Rohault (1620-1672), autor de *Traité de Physique* (1671), grande divulgador e explicador, em linguagem acessível ao público, da obra de Descartes; o físico Franz van Schooten (1615-1660), Pierre-Sylvius Regis (1632-1707) e Henricus Regius (1598-1679), autor de *Fundamenta Physices* (1646). O primeiro grande pensador, contudo, a se filiar ao cartesianismo seria Nicolas Malebranche (1638-1711), autor de *La Recherche de la Verité* (1674-78), enquanto Huygens e Leibniz podem ser considerados como cientistas influenciados pela "Escola de Descartes".

6.7.6.2.3 Huygens

Na evolução da Mecânica (e das Ciências Exatas, de modo geral) no século XVII, ocupa um lugar proeminente o matemático, físico e astrônomo holandês, e membro da Academia de Ciências de Paris, Christiaan Huygens (1629-1695)[197]. No campo da Óptica, escreveu

[197] ROUSSEAU, Pierre. *Histoire de la Science.*

Huygens o *Tratado da Luz;* na Astronomia, aperfeiçoou o telescópio e efetuou várias descobertas (ausência de atmosfera na Lua, movimento de Marte, anel de Saturno); na Estática, aperfeiçoou a bomba pneumática de von Guericke e inventou a mola espiral (o que viria a facilitar a construção de relógios de bolso), e, ainda, construiu cronômetros. O padre Marin Mersenne havia proposto o problema de como determinar o comprimento de um pêndulo simples síncrono de outro composto; a questão continuava sem solução, apesar dos esforços de vários cientistas, inclusive Descartes. Apoiado em Galileu, quanto à impossibilidade de um sistema qualquer de corpos pesados se mover elevando seu próprio centro de gravidade, sem a interferência de força externa, o que equivale a negar o moto-contínuo, Huygens generalizou tais ideias com sua teoria dos centros de oscilações; em outras palavras, em todos os casos de oscilações no vácuo, o centro de gravidade do sistema se eleva exatamente à altura da qual descera.

Sua principal contribuição científica foi o *Horologium Oscilatorium*, publicado em 1673, no qual estudou a força centrífuga gerada no movimento circular uniforme, o tempo de oscilação de um pêndulo simples – e deu a fórmula para seu cálculo[198] – e a oscilação de um corpo no eixo estacionário. A medição do tempo foi uma constante preocupação das várias Sociedades em todas as épocas.

O melhor sistema conhecido na Antiguidade greco-romana e na Alta Idade Média era o relógio de água, do inventor e engenheiro grego Ctesíbio, apenas preciso para a medição de períodos de tempo equivalentes a grandes porções da hora. No fim da Idade Média, foram desenvolvidos os relógios mecânicos, nos quais uma agulha indicava a hora por meio de um peso que caía lentamente. A eliminação da água não tornou tais relógios mais precisos, mas permitiu, por sua simplicidade e resistência, sua aceitação generalizada, inclusive sua instalação na torre das igrejas. A necessidade de maior precisão na marcação do tempo faria com que se procurasse inventar um dispositivo que mantivesse o movimento periódico constante, ao qual seria anexado um relógio.

Passo pioneiro seria dado por Galileu, que, em seus estudos sobre a oscilação do pêndulo, chegara à conclusão de que tais oscilações poderiam servir para a medição do tempo, tendo, inclusive, pensado na construção de um relógio de pêndulo. Em seus estudos, Huygens teria presente que o isocronismo das oscilações do pêndulo circular é limitado a pequenas oscilações; na busca para determinar a duração da queda (movimento descendente) do pêndulo e compará-la com a queda livre dos corpos, Huygens substituiria o arco do círculo realizado pelo

[198] BARBOSA, Luiz Hildebrando Horta. *História da Ciência.*

pêndulo pela parábola oscilatória no ponto mais baixo, obtendo, assim, o período das suas pequenas oscilações. Para obter o isocronismo em toda a amplitude da oscilação, Huygens substituiria o pêndulo circular pelo pêndulo cicloidal, datando de 1657 seus relógios cicloidais.

A descoberta, por Huygens, dos princípios que governam o pêndulo composto (as velocidades adquiridas por corpos pesados na queda são, a cada instante, as mesmas, o que possibilitará, em sentido contrário, de se elevar ao nível do ponto inicial), e o desenvolvimento do princípio da suspensão cicloidal lhe possibilitariam construir o primeiro relógio mecânico de pêndulo, por meio de um mecanismo de escape, que permitia que os ponteiros do relógio percorressem uma extensão exata para cada oscilação do pêndulo. Cada oscilação do pêndulo levava o mesmo tempo, desde que a atração da gravidade permanecesse constante; ou seja, o pêndulo no alto de uma montanha, devido à menor força da gravidade, descerá mais lento. Por outro lado, o pêndulo se atrasaria, igualmente, se posto no equador, pois aí a ação da força centrífuga é máxima para uma atração gravitacional menor.

Em seu *Horologium Oscilatorium*, Huygens enunciaria 13 proposições sobre a força centrífuga, tendo já escrito, em 1659, mas só publicado em 1703, o tratado *De vi centrifuga*[199]. Sabia que uma pedra, atada a uma corda e girada muitas vezes seguidas no ar, se mantém no lado externo do círculo desafiando a gravidade; se a velocidade for suficientemente grande, a corda se parte, por causa da força centrífuga ou que foge do centro. Quando se gira a roda de uma bicicleta os raios ficam confundidos perto do aro, mas ainda podem ser vistos separadamente perto do eixo, porque rodam com menos velocidade. No centro mesmo da rotação, não existe movimento algum. Em cada lugar da Terra a força da gravidade faz com que os objetos caiam para o centro da Terra. Se isto é suficiente nos polos, não o é em outras partes do Globo, na qual a gravidade evita que os objetos e as pessoas sejam projetadas para fora da Terra pela força centrífuga.

Em 1657, Huygens escreveu a van Schooten informando-o de que já dispunha de "regras certas (sobre choques de corpos) e nada me agradou mais do que constatar que elas estão perfeitamente de acordo com a experiência". O assunto já vinha sendo estudado por outros cientistas. O choque dos corpos elásticos fora tratado, entre outros, pelo matemático inglês Christopher Wren, que não apresentou, contudo, demonstração válida de suas teorias. Partindo dos princípios da inércia e da relatividade (as circunstâncias do choque seriam as mesmas para um

[199] TATON, René. *La Science Moderne.*

objeto fixo ou móvel) concluiria Huygens que dois corpos iguais, com velocidades iguais, ao se chocarem, se afastam cada um com suas próprias velocidades. A demonstração sobre o choque de dois corpos diferentes só seria apresentada postumamente no seu tratado *De motu corporum ex percussione* (1700).

Finalmente, expandindo as ideias de John Wallis sobre conservação do movimento (1668), demonstraria Huygens que, num corpo em movimento, o produto entre a massa e o quadrado da velocidade (mv^2) se conserva, o que levaria, mais de um século depois, à descoberta da lei da conservação da energia mecânica (Hermann Helmholtz, 1821-1894 - James Joule, 1818-1888 e Julius Mayer, 1814-1878).

Edme Mariotte (1620-1684) estudaria a teoria do choque em seu *Traité de la percussion ou choc des corps* (1673), no qual salientaria não ser o peso, mas a quantidade de matéria de um corpo que afeta a grandeza da quantidade do movimento, e no qual estudaria, igualmente, os centros de percussão.

6.7.6.2.4 Newton

Ao longo do século XVII firmou-se a convicção (Kepler, Galileu, Descartes, Huygens) de que princípios mecânicos, alicerçados na Matemática, constituíam base suficiente para explicar toda a Ciência física. A unidade da Natureza poderia ser representada numa grande síntese, reveladora da aplicabilidade das mesmas leis e dos mesmos princípios, em todo o Universo. Como escreveu Ruppert Hall,

> as revoluções planetárias de Copérnico, as leis de Kepler, as descobertas de Galileu e de Huygens relativamente aos fenômenos da gravidade e do movimento, todas demonstraram decorrer destas leis e princípios, e ser abarcadas pela mesma síntese.

Esta síntese, estágio culminante da Mecânica Moderna, iniciada por Galileu, está formulada no considerado maior livro científico de todas as épocas, o *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* (*Princípios Matemáticos da Filosofia Natural*), conhecido como *Principia*, de 1687, de Isaac Newton.

A Física de Newton, que viria a ser adotada imediatamente na Inglaterra, se contrapunha, entretanto, à de Descartes, aceita nos meios intelectuais do continente europeu, que contemplava apenas dois

elementos, extensão e movimento, e rejeitava o vácuo. Newton, além de admitir o vácuo, considerava três elementos:

> i) a matéria, um infinito número de partículas impenetráveis e não modificáveis, mas não idênticas;
> ii) o movimento, estado paradoxal, que não modifica a partícula, mas se limita a transportá-la; e
> iii) o espaço, ou vácuo realmente infinito e homogêneo, em que, sem encontrar oposição, aquelas partículas se movimentam[200].

Adicionalmente, e ainda quanto ao movimento, se para Descartes a quantidade de movimento no Mundo era constante, devido ao deslocamento de corpos por entrechoques, para Newton a quantidade de movimento não seria constante, pela própria inércia e pela gravitação universal, conforme explicaria em outra sua grande obra, intitulada *Óptica*.

O *Principia*, escrito em latim, e traduzido para o inglês após a morte de Newton, divide-se em três livros: o primeiro, que trata do movimento dos corpos no espaço vazio, define e comenta certos conceitos, estabelece axiomas ou leis do movimento, apresenta teoremas e um "escólio" (explicações); o segundo livro se refere ao movimento dos corpos em meios resistentes; e o terceiro livro, baseado nos dois primeiros, explica o Sistema do Mundo[201].

Já no Prefácio do *Principia*, Newton afirma que "toda a dificuldade da Filosofia parece consistir do seguinte: investigar as forças da Natureza, e, a partir dos fenômenos do movimento dessas forças, demonstrar os outros fenômenos". Salienta, ainda, Newton, que a Matemática seria apenas um método para a solução dos problemas apresentados pela experiência perceptível.

Seguindo modelo axiomático da Geometria de Euclides, o Livro I começa com oito definições, seguidas das três leis do movimento, das "proposições" ou pressupostos, seguindo-se os "corolários" e o "escólio" (esclarecimento). As definições são:

> I – "massa" ou "quantidade de matéria é a medida da mesma, oriunda conjuntamente da sua densidade e grandeza". A definição distingue massa de um corpo (que é sempre a mesma em todos os pontos do Universo) do peso de um

---

200 ROSSI, Paolo. *O Nascimento da Ciência Moderna na Europa.*

201 NEWTON, Isaac. *Princípios Matemáticos da Filosofia Natural.*

corpo, que depende da força da gravidade, que varia com a distância;
II – "quantidade do movimento é a medida do mesmo, provinda conjuntamente da velocidade e da quantidade da matéria". Indica o produto da massa de um corpo pela sua velocidade;
III – "a força inata da matéria é um poder de resistir pelo qual cada corpo, enquanto depende dele, persevera em seu estado, seja de descanso, seja de movimento uniforme em linha reta". Esta força também é chamada de "força da inércia";
IV – "a ação impressa é uma ação exercida sobre um corpo para mudar seu estado de repouso ou de movimento uniforme em linha reta". A força impressa é de diversa origem, como de percussão, de pressão e de força centrípeta;
V – "a força centrípeta é aquela pela qual o corpo é atraído ou impelido ou sofre qualquer tendência a algum ponto como a um centro". O termo "força centrípeta" foi introduzido na Física por Newton, e é oposta à "centrífuga" (termo cunhado por Huygens), que é aquela sofrida por um corpo para se afastar do centro. Exemplos de forças centrípetas são a gravidade, pela qual o corpo tende ao centro da Terra e o Magnetismo, pelo qual o ferro tende ao centro do imã. A quantidade de força centrípeta é de três espécies: absoluta, aceleradora e motriz, cujas definições são apresentadas a seguir;
VI – "a absoluta quantidade de força centrípeta é a medida da mesma, maior ou menor conforme a eficácia da causa que a propaga do centro pelos espaços em redor". A força magnética se torna maior num imã e menor no outro, conforme seu tamanho e energia de intensidade;
VII – "a quantidade aceleradora de uma força centrípeta é a medida da mesma, proporcional à velocidade que gera em determinado tempo". A força de um mesmo imã é maior numa distância menor, e menor numa distância maior, como a gravidade é maior num vale e menor nos cumes das montanhas, sendo em tudo igual nas distâncias iguais, visto que acelera igualmente todos os corpos que caem, tirando-se a resistência do ar;
VIII – "a quantidade motriz da força centrípeta é a medida da mesma, proporcional ao movimento que gera em determinado

tempo". A força é o "centripetismo" ou sua propensão ao centro ou seu peso, conhecendo-se sempre pela força que lhe é contrária e que é igual, capaz de impedir a descida do corpo.

Após essas definições e explicações, Newton adverte tratar-se de "conceito matemático. Com efeito, não me preocupam aqui as causas e os portadores físicos das forças". Explica o autor que a

> força aceleradora está para a motriz como a velocidade para o movimento, pois a quantidade do movimento provém da velocidade multiplicada pela quantidade da matéria, e a força motriz surge da força aceleradora multiplicada pela quantidade da mesma matéria [202].

De mais a mais, continua Newton,

> denomino as atrações e os impulsos, no mesmo sentido, aceleradores e motrizes. Uso, porém, indiferente e promiscuamente, as palavras atração, impulso ou propensão de qualquer espécie em direção ao centro, considerando essas forças não fisicamente, mas só matematicamente.

Por isto, alerta o autor para que

> "se precavenha o leitor de pensar que eu queira definir com essas palavras uma espécie ou modo de ação, causa ou razão física, atribuindo aos centros (que são pontos matemáticos) forças verdadeiras e físicas, quando digo, por acaso, que os centros atraem ou falo de forças do centro".

Seguem-se no Livro I os três axiomas (ou leis) do movimento[203], que, por sua evidência, são admitidos como verdadeiros sem requerer demonstração:

i) a chamada "lei da inércia", pela qual "todo corpo permanece em seu estado de repouso ou de movimento uniforme em linha reta, a menos que seja obrigado a mudar seu estado por forças impressas nele". Explica Newton que os projéteis permanecem em seus movimentos enquanto não forem retardados pela resistência do ar e impelidos para baixo pela gravidade Os planetas conservam por mais tempo seus

[202] NEWTON, Isaac. *Princípios Matemáticos da Filosofia Natural.*
[203] NEWTON, Isaac. *Princípios Matemáticos da Filosofia Natural.*

movimentos, tanto os progressivos quanto os circulares, por causa da menor resistência dos espaços;

ii) a denominada "lei da aceleração", pela qual "a mudança do movimento é proporcional à força motriz impressa, e se faz segundo a linha reta, pela qual se imprime essa força". Esclarece Newton que se toda força produz algum movimento, uma força dupla produzirá um movimento duplo, e uma tripla, um triplo, quer essa força se imprima conjuntamente e de uma só vez, quer seja impressa gradual e sucessivamente; e

iii) a "lei da ação e reação", pela qual "a uma ação sempre se opõe uma reação igual, ou seja, as ações de dois corpos um sobre o outro sempre são iguais e se dirigem a partes contrárias". Diria Newton que tudo que impele ou atrai o outro é do mesmo modo impelido ou atraído por ele.

Para o caso das duas primeiras leis, Newton reconheceria a contribuição de Galileu, enquanto para a terceira lei citaria, como precedentes, os trabalhos de Wren, Wallis, Huygens e Mariotte.

Das "definições" e "axiomas", deduziria Newton teoremas, como o da "atração das esferas" e o do "paralelogramo dos movimentos", isto é, quando duas forças agem simultaneamente sobre um corpo, este descreverá a diagonal de um paralelogramo no mesmo intervalo de tempo em que descreveria os seus lados sob a ação de cada força particular[204].

No "Escólio", Newton esclareceria que deixara de definir o tempo, o espaço, o lugar e o movimento por "conhecidíssimos de todos", mas que não concebe, contudo, "essas quantidades senão pela relação com as coisas sensíveis". Por isto, convém "distinguir as mesmas entre absolutas e relativas, verdadeiras e aparentes, matemáticas e vulgares". O tempo absoluto, verdadeiro e matemático flui sempre igual por si mesmo e por sua natureza, sem relação com qualquer coisa externa, chamando-se com outro nome "duração", na conhecida definição de Newton. Trata-se, assim, de um fluxo eterno e uniforme do tempo. O tempo relativo, aparente e vulgar, "é certa medida sensível e externa de duração por meio do movimento (seja exata, seja desigual), a qual vulgarmente se usa em vez do tempo verdadeiro, como são a hora, o dia, o mês, o ano"[205].

O espaço absoluto é definido como "por sua natureza, sem nenhuma relação com algo externo, permanece sempre semelhante e imóvel" e o espaço relativo como "certa medida ou dimensão móvel desse

[204] ROSSI, Paolo. *O Nascimento da Ciência Moderna na Europa.*
[205] NEWTON, Isaac. *Princípios Matemáticos da Filosofia Natural.*

espaço, a qual nossos sentidos definem por sua situação relativamente aos corpos". Koyré explica o tempo e o espaço absolutos e matemáticos (inteligíveis) opostos ao tempo e espaço do senso comum (sensíveis); o tempo e o espaço possuem sua própria natureza, e, portanto, existirão independentemente do Mundo exterior e material e do movimento dos corpos; o espaço que se move em torno dos corpos é o espaço relativo (que se move no espaço absoluto junto com o corpo); a ordem das partes do tempo e do espaço é imutável[206]. Para Newton, tempo e espaço têm uma existência independente do universo material que existe relativamente no seu interior[207]. O lugar é uma parte do espaço que um corpo ocupa, e, com relação ao espaço, pode ser absoluto ou relativo.

O movimento também pode ser absoluto ou relativo, sendo absoluto a translação de um corpo de um lugar absoluto para outro absoluto, ao passo que o relativo é a translação de um lugar relativo para outro relativo. Num navio a vela, exemplifica Newton, o lugar relativo de um corpo é aquela parte do navio em que ele se acha, ou aquela parte da cavidade que o corpo ocupa, e que se move junto com o navio; e o descanso relativo é a permanência do corpo naquela mesma parte do navio ou de sua cavidade. O descanso verdadeiro, prossegue Newton, é a permanência do corpo na mesma parte daquele espaço imóvel em que o próprio navio se move juntamente com sua cavidade e todo o seu conteúdo. O movimento e o descanso se distinguem um do outro, tanto os absolutos quanto os relativos, por suas propriedades, causas e efeitos. "Uma propriedade do descanso é que os corpos verdadeiramente em repouso estejam parados em relação um ao outro", pelo que não pode ser detectado se um corpo longínquo, na região das estrelas fixas, está em repouso absoluto pela situação de outro corpo na nossa região. Daí inferir Newton que "não se pode definir o verdadeiro repouso pela situação dos corpos entre si".

Newton relaciona duas propriedades do movimento: "as partes que guardam as posições dadas em relação a seus todos participam dos movimentos desses todos", e "movendo-se o lugar, juntamente se move o conteúdo, e, por isso, um corpo que se move de um lugar em movimento participa também do movimento do seu lugar". As causas que distinguem os movimentos verdadeiros dos relativos são causas impressas nos corpos para gerar o movimento; o movimento verdadeiro só pode ser gerado e mudado por forças impressas no próprio corpo movido, mas o movimento relativo pode ser gerado e mudar-se sem força impressa no corpo movido,

---

206 KOYRÉ, Alexandre. *Do Mundo Fechado ao Universo Infinito.*
207 HALL, A. Ruppert *A Revolução na Ciência – 1500-1750.*

mas impressa em outro corpo com o qual entra em relação (contato). Os efeitos que distinguem os movimentos absolutos dos relativos "são as forças de se afastar do eixo do movimento circular". No movimento circular relativo, não há tais forças, no verdadeiro (absoluto), porém, existem em maior ou menor grau conforme a quantidade do movimento.

No Livro II do *Principia*, Newton estudaria o movimento dos corpos em um meio mais resistente, sendo a resistência proporcional à velocidade e ao quadrado da velocidade; esboçaria teorias sobre a resistência dos fluidos, em que a proporcionalidade dessas resistências é igual à grandeza da velocidade; estudaria, ainda, a velocidade da propagação das ondas, antecipando-se a Laplace[208]; distinguiria, nitidamente, os conceitos de fluido incompressível, viscoso (ou desprovido de pressão de viscosidade) e compressível; e ainda estudaria a curva balística.

O Livro III do *Principia* teve, acrescentado no início, a partir da 2ª edição (1712), o *Regulae Philosophandi*, considerado pelo autor como necessário para justificar, em resposta às críticas, seu método de raciocínio na explicação do funcionamento do Sistema do Mundo. Esta parte já foi comentada neste trabalho no capítulo relativo à metodologia científica de Newton.

Em seguida, Newton descreveria o Sistema do Mundo na parte chamada de *Fenômenos*, com observações astronômicas, na qual mostra que os planetas e os seus satélites se movem de acordo com as leis de Kepler; calcula a densidade da Terra (entre 5 e 6) e a massa do Sol, de Júpiter e de Saturno; mostra que a precessão dos equinócios é devida à forma da Terra e à inclinação do eixo, que, por sua vez, depende do efeito conjunto de atração da Lua e do Sol; a trajetória dos cometas é explicada pela atração do Sol, o que os coloca dentro do Sistema Solar. O cometa de 1681 comprovaria o movimento de parábola (1ª lei de Kepler) e descreveria áreas proporcionais aos tempos (2ª lei de Kepler). O conjunto dessas descobertas, escreveu Dugas[209], "traçando a marcha ulterior de toda a Mecânica Celeste, tem qualquer coisa de verdadeiramente prodigiosa".

Seguir-se-ia no Livro III a famosa lei da "gravitação universal", que corresponde à estrutura do Sistema do Mundo, pela qual dois corpos no Universo se atraem mutuamente com uma força que é diretamente proporcional ao produto das duas massas e inversamente proporcional ao quadrado da distância que os separa. O cálculo pelo qual resulta que a Lua é mantida na sua órbita pela mesma força de gravidade, e por cujo efeito os corpos caem sobre a superfície terrestre foi considerado, por

[208] TATON, René. *La Science Moderne.*
[209] TATON, René. *La Science Moderne*.

muitos, como um dos pontos centrais da obra newtoniana[210]. O raciocínio de Newton está desenvolvido em sete proposições, sendo a sétima a de que "existe uma força de gravidade concernente a todos os corpos, proporcional às respectivas quantidades de matéria que eles contêm", conforme se conclui das proposições anteriores. Na Proposição IV, Newton afirmaria que "a Lua gravita em direção à Terra, e pela força da gravidade é continuamente desviada de um movimento retilíneo e mantida em sua órbita". A força da gravidade é, na verdade, uma força centrípeta, por cujo efeito "os planetas são mantidos nas suas órbitas". A demonstração de Newton termina, na Proposição VII, com as célebres letras QED *Quod Erat Demonstrandum* (*Como Queríamos Demonstrar*). A conclusão de que a força da gravidade é, na realidade, centrípeta, significava que uma única força era responsável pelas órbitas dos planetas e de seus satélites, pela queda dos corpos pesados sobre a Terra e pelas marés. Resultava daí, conforme escreveu o já citado Paolo Rossi, um quadro unitário do Mundo e uma unificação definitiva da Física terrestre e da Física celeste. Caía o dogma de uma diferença essencial entre os Céus e a Terra, entre a Mecânica e a Astronomia.

O Livro III termina com o "Escólio Geral"[211], acrescentado na 2ª edição da obra, no qual apresentaria o autor a metafísica newtoniana. Como comentou Mônica Helena Gianfaldoni, a lei da gravidade explicava porque os planetas continuavam em suas órbitas, mas não explicava a origem do Sistema Solar e de seu movimento. A explicação requeria uma metafísica, e como a Física não era suficiente para tanto, Newton apelaria para a noção de Deus e sua interferência no Mundo físico[212]. A regularidade do movimento planetário ocorre de acordo com as leis, mas apesar de tais corpos poderem, com efeito, "continuar em suas órbitas pela simples lei da gravidade, todavia eles não podem de modo algum ter, em princípio, derivado dessa lei a posição regular das próprias órbitas"; assim, "não se deve conceber que simples causas mecânicas poderiam dar origem a tantos movimentos regulares".

Desta forma, "este magnífico sistema do Sol, planetas e cometas poderia somente proceder do conselho e domínio de um Ser inteligente e poderoso", que governa todas as coisas, "não como a alma do Mundo, mas como Senhor de tudo". Newton esclarece que Deus é um "Ser vivente, inteligente e poderoso", e que "sua duração se estende da eternidade à eternidade, sua presença do infinito ao infinito... ele não é eternidade e

---

[210] ROSSI, Paolo. *O Nascimento da Ciência Moderna na Europa.*
[211] NEWTON, Isaac. *Princípios Matemáticos da Filosofia Natural.*
[212] ANDERY, Maria Amália et al. *Para compreender a ciência.*

infinitude, mas eterno e infinito; ele não é duração ou espaço, mas ele dura e está presente". Mais adiante, Newton assinala que,

> assim como um Homem cego não tem ideia das cores, nós também não temos ideia da maneira pela qual o todo-sábio Deus percebe e entende todas as coisas. Ele é completamente destituído de todo corpo e figura corporal... temos ideia de seus atributos, mas o que é a substância real de qualquer coisa nós não sabemos... nós o conhecemos apenas por suas invenções mais sábias e excelentes das coisas e pelas causas finais... a necessidade metafísica cega, que certamente é a mesma sempre e em todos os lugares, não poderia produzir nenhuma variedade das coisas. Toda aquela diversidade das coisas naturais que encontramos adaptadas a tempos e lugares diferentes não se poderia originar de nada a não ser das ideias e vontade de um Ser necessariamente existente.

Nessa Filosofia, proposições particulares são inferidas dos fenômenos e depois tornadas gerais pela indução. "Assim foi que a impenetrabilidade, a mobilidade e a força impulsiva dos corpos, e as leis do movimento e de gravitação, foram descobertas", como escreveu Newton, concluindo que era suficiente que a gravidade realmente existisse, e agisse de acordo com as leis.

Apesar do sucesso do *Principia*, pode-se considerar que até meados do século XVIII, subsistiriam duas Físicas antagônicas, a de Descartes e a de Newton. Voltaire, tradutor e divulgador do pensamento de Newton na França, comentaria nas *Lettres Philosophiques* (1734):

> um francês que chegue a Londres acha que as coisas estão muito mudadas na Filosofia Natural como em todo o resto. Deixou o Mundo cheio e o encontra vazio. Em Paris o Universo é visto como sendo um composto de matéria sutil. Em Londres nada se vê de tudo isso. Entre nós na França, é a pressão da Lua a causar o fluxo do mar; junto dos ingleses é o mar a gravitar sobre a Lua... Na concepção dos cartesianos, tudo acontece por efeito de um impulso incompreensível, para Newton, ao contrário, pela força de uma atração da qual nem bem conhece a causa (citado por Paolo Rossi).

No final da primeira metade do século XVIII, a Física newtoniana prevaleceria sobre a de Descartes no continente europeu (graças, entre outros, a Malebranche, Clairaut, Maupertuis, Varignon, Voltaire), firmando-se, com a contribuição de outros grandes físicos dos séculos seguintes, como uma das maiores realizações científicas de todos os tempos.

Menção especial deve ser feita ao filósofo e matemático alemão Leibniz, crítico tanto da Dinâmica de Descartes, quanto da Física de Newton. Objetaria Leibniz à lei da conservação das quantidades do movimento, de Descartes, com o conceito de conservação, no choque, das forças vivas, hoje denominadas energia cinética; o problema era, na realidade, semântico, uma vez que ambos estavam de acordo com as leis do choque[213]. Ao mesmo tempo, Leibniz introduziria a noção de ação motriz em substituição à quantidade de movimento. Quanto à Física de Newton, suas principais críticas se referiam aos conceitos de tempo e espaço absolutos e de atração à distância, como retorno à metafísica. Acrescente-se que Leibniz era, igualmente, contrário à possibilidade do vácuo na Natureza e da existência de átomos.

Com base nos avanços experimentais e conceituais do século XVII, a Mecânica continuaria a ter um extraordinário desenvolvimento nos séculos seguintes.

6.7.7 Óptica

Como o estudo da luz tem sido um tópico importante desde a Antiguidade clássica até nossos dias, convém, para facilitar a compreensão dessa evolução, examinar o tema em duas partes: a natureza da luz e a teoria das cores.

6.7.7.1 Natureza da Luz

Já na Antiguidade, era sabido que a luz se refletia ao encontrar superfícies polidas, que alguns objetos são atravessados pela luz e outros não, que os objetos opacos projetavam sombras, que alguns corpos possuíam luz própria (corpos luminosos), enquanto outros só podiam ser vistos quando sobre eles incidissem luz. A propagação da luz era retilínea. Sabia-se, igualmente, da refração da luz, mas a formação de imagens por lentes era bastante precária para permitir avanços significativos nessa área.

A partir do período alexandrino, com Euclides e Ptolomeu, se desenvolveria a Óptica geométrica, porém, nada de relevante no campo da Óptica seria produzido durante o Renascimento Científico, apesar do indiscutível interesse, por motivos metafísicos, pela luz.

Grande atividade, no terreno teórico e experimental, ocorreria na Óptica no século XVII, iniciando-se com os trabalhos de Harriot, Kepler,

[213] TATON, René. *La Science Moderne.*

Snell e Galileu. O matemático e astrônomo inglês Thomas Harriot teria descoberto, em 1601, a "lei do seno" da refração da luz, mas não publicou seus trabalhos.

Kepler publicaria, em 1604, sua *Óptica* (com um suplemento a Witelo), na qual apresentaria a correta teoria matemática da câmara escura, daria a primeira explicação do funcionamento do olho humano, que forma, na retina, a imagem invertida (o que não seria aceito de imediato), explicaria a miopia e a hipermetropia, e observaria que a intensidade da luz variaria inversamente com os quadrados da distância do observador do fato. Em 1611, publicaria Kepler a *Dióptrice*, na qual estudou a refração e apresentou tabelas de refração.

O físico e matemático holandês Willebrord Snell (1580-1626) teria, em 1621, descoberto a lei da refração, baseada na constante conhecida como índice de refração, após extenso trabalho prático experimental. A obra de Snell viria, contudo, a ser conhecida a partir da publicação, por Huygens, de *Resultados de Snell na Dióptrica* (1703).

Os trabalhos de Galileu sobre Óptica estão esparsos em sua obra. Em seu entendimento, todos os efeitos ópticos tinham causa cinética, como o som, mas com velocidade bem superior. Os melhoramentos introduzidos na luneta, sua utilização na Astronomia e sua divulgação contribuiriam para confirmar Kepler sobre a imagem invertida. Isaac Voss (1618-1689) estudaria, igualmente, o fenômeno da refração, e enunciaria, de modo empírico, ser "o caminho percorrido no mesmo tempo nos dois meios uma relação constante, igual àquela das cossecantes de dois ângulos"[214].

A Óptica de Descartes se enquadra dentro de sua explicação geral para os fenômenos físicos. Entre o Sol e os olhos humanos, haveria uma matéria sutil formada de pequenas esferas contíguas de tamanho variável, cujos corpúsculos, divisíveis pelo choque com outras partículas, tenderiam a escapar do Sol e dos corpos luminosos. Como não há vácuo, tais corpúsculos comprimiriam o sistema intermediário, resultando uma força vibratória (luz), que passaria a atuar no meio ambiente. Em contato com os corpos sólidos, os corpúsculos serão refratados e transmitidos, se os poros forem suficientemente grandes e numerosos, mas serão refletidos se, ao contrário, as aberturas forem raras e pequenas[215]. Desta forma, o verdadeiro movimento seria uma espécie de pressão. Produzida pelas variações rítmicas da pressão num meio incompressível, a luz se propagaria instantaneamente, ou seja, teria uma velocidade infinita. Os fenômenos de

---

214 TATON, René. *La Science Moderne.*
215 TATON, René. *La Science Moderne.*

refração e reflexão são vistos por Descartes como resultantes do choque de corpos. A reflexão é demonstrada pelo exemplo do salto da bola elástica. Na *Dióptrica*, suplemento do *Discurso sobre o Mét*odo (1637), constaria a grande contribuição de Descartes à Óptica: suas duas leis do seno da refração, assim chamadas pela utilização dos senos trigonométricos dos ângulos. A primeira lei estabelece que "há uma relação constante entre o seno do ângulo de incidência e o seno do ângulo de refração"; essa relação se chama índice de refração. A segunda lei estabelece que "o raio incidente, normal no ponto de incidência, e o raio refratado estão no mesmo plano"; entende-se por "normal" a perpendicular à superfície.

O atomista Pierre Gassendi defendia a tese de Epicuro e demais atomistas sobre a natureza da luz, mas sem grande sucesso.

O matemático Pierre de Fermat sustentaria com Descartes uma polêmica sobre a refração da luz, argumentando que a luz obedeceria a um princípio do "menor tempo", pelo qual escolheria sempre o caminho mais curto em tempo. Ao mesmo tempo, Fermat defendia que o meio de propagação mais rápido da luz seria o vácuo.

O físico italiano Francesco Maria Grimaldi (1613-1663) foi pioneiro no estudo do fenômeno da difração, seguido de posteriores trabalhos de Hooke e Newton; o fenômeno seria completamente elucidado no século seguinte por Fresnel, que a definiu como a passagem em que as frentes da onda incidente são curvas. O termo foi cunhado por Grimaldi, que, em 1665, escreveu *Physicomathesis de lumine, coloribus, et iride, aliisque annexis*. Para Grimaldi, a noção de raio luminoso, base da Óptica geométrica, não era suficiente, alegando que haveria um quarto modo de propagação da luz, por difração, distinta dos outros três modos (propagação direta, reflexão e refração)[216]. Os corpos opacos poderiam deslocar os raios de luz para o lado, os quais se propagariam em um tempo finito, mas imperceptível. A luz seria, assim, um corpo diferente da matéria, por sua natureza e geração. Comparável ao som, era a luz produzida pela vibração rítmica de uma substância. Escreveria que "a luz é um fluido que se move extremamente rápido e de modo, por vezes, vibratório através dos corpos transparentes". Dessa forma, Grimaldi se juntaria aos defensores da teoria do éter (Descartes, Malebranche, Hooke). Grimaldi enunciaria o princípio de que um corpo iluminado pode tornar-se mais escuro pela adição de mais luz, hoje conhecido como "princípio da interferência" pela combinação de duas ondas.

O físico, matemático e médico dinamarquês Erasmus Bartholin (1625-1698) descobriu a dupla refração, que seria, também, estudada por Huygens. Ao fazer girar o cristal de feldspato-da-islândia (calcita) em

---

[216] TATON, René. *La Science Moderne.*

torno de um feixe incidente de luz, observou Bartholin que um dos raios refratados permanecia fixo, enquanto o outro girava com o cristal, razão pela qual, no primeiro caso, a imagem permanecia fixa, e no segundo, se deslocava. Em 1669, Bartholin publicaria *Experimenta crystalli islandici disdiaclastica*.

Outro avanço significativo, nessa época, deveu-se ao astrônomo dinamarquês Olaf Roemer que, ao estudar o planeta Júpiter, com base nas informações das tabelas de Cassini (dos eclipses dos satélites), conseguiu pela primeira vez, em 1675, uma avaliação razoável da velocidade da luz. A Análise de Roemer do fenômeno concluiu que o intervalo entre dois eclipses sucessivos do mais rápido daqueles satélites era igual a 42 horas, 28 minutos e 36 segundos; calculou, então, a partir de um dado eclipse, os momentos de todos os demais, durante um ano terrestre. As observações diretas dos eclipses, quando, a Terra se afastava de Júpiter, revelavam um atraso crescente de tais eclipses, que, depois, decrescia à medida que a Terra se aproximava novamente de Júpiter. No máximo de atraso, verificou Roemer uma defasagem de pouco mais de 16 minutos, anomalia resultante do tempo despendido pela luz para percorrer o aumento da distância entre a Terra e Júpiter[217], pelo que a luz teria de ser finita. Seu cálculo da velocidade da luz foi de 225 mil km por segundo, para os atuais 299.792,5 km por segundo. Dada a alta velocidade, os fenômenos normais que ocorrem na superfície da Terra parecem instantâneos. Com essa demonstração, as teorias baseadas na velocidade infinita da luz, como a Física de Descartes, sofreram forte golpe, e muitos conceitos tiveram de ser revistos. Huygens e Newton, entre outros, aceitaram os cálculos de Roemer e os utilizaram em seus trabalhos, porém os adeptos da instantaneidade da luz, como Cassini, La Hire e os cartesianos, contestariam as evidências.

O cartesiano Malebranche adotaria a teoria da luz cujo movimento se assemelharia a uma pressão e cuja propagação seria instantânea. Essa pressão não seria constante, mas teria variações periódicas. Com a descoberta de Roemer, iria Malebranche aceitar a teoria da velocidade finita da luz. Seu principal trabalho em Óptica seria, contudo, sobre as cores.

O físico Robert Hooke, da Sociedade Real, descobridor da "lei da elasticidade" e autor de *Micrographia* (1665) na qual tratou da questão da luz, estudou em 1672 o fenômeno da difração e elaborou uma teoria do "movimento ondulatório" da luz, o qual seria provocado pela vibração do meio. Essa vibração se propagaria por meio de pulsações uniformes, perpendiculares à direção da propagação. Essa hipótese, retomada por

---

[217] BARBOSA, Luiz Hildebrando Horta. *História da Ciência.*

Fresnel, seria a base das teorias ondulatórias da luz[218]. A reflexão, a refração e a coloração se explicariam, segundo Hooke, pela desigual orientação das vibrações nos corpos transparentes. Estudou, ainda, a dupla refração, a qual seria devida à falta de simetria no movimento vibratório da luz. Hooke, precursor de Huygens, seria crítico da teoria de Newton sobre a luz, o qual retardaria para 1704, um ano após a morte de Hooke, a publicação de sua famosa obra *Opticks*.

Duas teorias sobre a natureza e a propagação da luz, formuladas nos fins do século XVII, dividiriam os cientistas dos séculos seguintes. Como escreveu Rossi, a polêmica entre os defensores das duas teses iria contrapor duas escolas, e daria lugar a um "contraste radical entre metafísicas científicas que veria o sucesso temporário da teoria corpuscular no século XVIII e da ondulatória no século XIX para chegar até nós na abordagem complementar da óptica quântica posterior a 1905"[219]. Cronologicamente, a primeira, conhecida como "teoria corpuscular", foi devida a Newton, e a outra, de Huygens, é chamada de "teoria ondulatória". Pela primeira, a luz seria uma substância que emana dos corpos luminosos, num fluxo de partículas que se deslocam no espaço vazio. A teoria ondulatória pressupunha um substrato presente entre os corpos, um éter, já defendido por Descartes.

Newton, em janeiro de 1672, escreveu a Henry Oldenburg, secretário da Sociedade Real, relatando sua teoria da luz e da cor, afirmando, inclusive, que sua teoria das cores era a mais importante descoberta até então nas investigações sobre a Natureza. A *Philosophical Transactions*, revista da Sociedade Real, publicaria esse estudo de Newton. O cientista inglês continuaria suas pesquisas sobre o assunto, e em 1675, escreveria novo trabalho em que defenderia a tese corpuscular, segundo a qual a luz seria um fluxo de corpúsculos, que se movia em linha reta do objeto luminoso até os olhos do observador. Baseava-se, ainda, em que a luz seria parcialmente refletida e parcialmente refratada por um engenhoso sistema de "ajustes de fácil reflexão e ajustes de fácil refração". Tais ajustes eram causados pela vibração dos corpúsculos ao serem ejetados pelos corpos luminosos, ou, em outras palavras, a reflexão e a refração seriam devidas às forças exercidas pelas partículas dos corpos refletores ou transparentes sobre os corpúsculos[220]. As vibrações nas bordas dos objetos faziam também os corpúsculos apresentarem os efeitos de borda colorida que Grimaldi observara. Newton aceitava a existência de um éter, meio

[218] TATON, René. *La Science Moderne.*
[219] ROSSI, Paolo. *O Nascimento da Ciência Moderna na Europa.*
[220] ROSMORDUC, Jean. *Uma História da Física e da Química.*

suscetível a vibrações, e extremamente útil para explicar a ação à distância na gravidade, no Magnetismo e na atração elétrica. De acordo ainda com a teoria corpuscular, a velocidade da luz seria mais rápida no meio denso, o que não seria verificável na época (somente em 1850 Foucault provaria que a luz viaja mais lenta na água que no ar).

Desde sua divulgação, em 1672 e 1675, a teoria de Newton seria criticada, principalmente, por Huygens e Hooke, que sustentavam o movimento ondulatório do éter que transportava a luz; ao mesmo tempo, a teoria de Newton não explicava a descoberta de Grimaldi da pequena distorção do raio luminoso diante de um objeto e a dupla refração descoberta por Bartholin. Com algumas alterações, mas com o intuito de reafirmar sua convicção no acerto de sua teoria, Newton publicaria, em 1704, sua *Opticks* ou *Treatise of the Reflexions, Refractions, Inflexions and Colours of Light*, reeditado em 1717 e 1721, e traduzido para o latim em 1706. Como o *Principia*, a *Óptica* é dividida em três partes: na primeira, o autor apresenta definições, axiomas, proposições e teoremas, expõe a doutrina da composição e dispersão da luz branca e a aberração das lentes, o arco-íris e a classificação das cores; na segunda parte, aborda problemas relativos às cores, aos anéis de interferência, aos fenômenos de interferência da luz nas lâminas sutis; e na terceira parte, descreve uma série de experimentos sobre difração e sobre as franjas coloridas. A teoria da luz de Newton prevaleceria nos meios intelectuais da Europa durante o século XVIII.

A grande obra de Christiaan Huygens no campo da Óptica foi seu *Traité de la Lumière*, de 1690, que se contrapõe à de Newton, e que prevaleceria no século XIX. Conhecida como "teoria ondulatória", a luz consistiria de um movimento da matéria que se encontra intercalada entre nós e o corpo luminoso. A propagação se daria por um meio que chamou de éter, constituído de partículas ínfimas, rijas e elásticas, que não é o ar, porquanto este existe em quantidade limitada no nosso Mundo e inexiste no espaço interplanetário. O meio propagador não seria, assim, a atmosfera, já que a luz, ao contrário do som, percorre o vácuo. O éter seria algo supersensível, que não pode ser visto, pesado ou isolado, que abrangeria todo o espaço do Universo e impregnaria todas as coisas materiais. A luz se propagaria, em geral, por ondas esféricas de choques, que se empurra por meio do éter a uma velocidade finita e variável, de acordo com o meio (quanto mais denso o meio, mais vagarosa a velocidade da luz). Se a luz emprega certo tempo para sua transmissão, escreveria Huygens, é evidente que este movimento impresso na matéria é sucessivo, e, por conseguinte, se estende como o do som, pelas superfícies e por ondas esféricas. Tais ondas não seriam regulares entre si. Os raios de propagação da luz seriam

longitudinais, e não perpendiculares ou transversais, como afirmado por Hooke e confirmado por Fresnel. Concebeu, ainda, Huygens, pequenas ondas secundárias em cada ponto à frente das ondas de choque, criando outras ondas de choque. Essas ondas explicariam a reflexão, a refração e a dupla refração.

6.7.7.2 Teoria das Cores

Os estudos das cores sempre estiveram ligados aos da luz A concepção aristotélica, prevalecente até o século XVII, era a da cor como uma qualidade inerente dos corpos ou produzida por uma mistura variável de sombra e luz, sendo o vermelho e o violeta as cores fundamentais. Nenhuma teoria surgiria na Idade Média. O alquimista Paracelso sustentaria que as cores seriam uma manifestação do princípio sulfúreo.

Somente no século XVII, começariam as pesquisas de cunho científico sobre o espectro luminoso, formado pela passagem da luz pelo prisma e lentes. O primeiro a refutar a teoria aristotélica seria o jesuíta Galeotto Mariscoti, que, em 1617, demonstraria que não era o prisma que causava a coloração, mas a refração dos raios; no caso de os raios atravessarem normalmente o prisma, nenhuma coloração seria observada. O raio mais puro (amarelo) não estaria na parte superior do espectro, mas no meio. Isaac Barrow tentaria aperfeiçoar as ideias de Aristóteles, propondo (1674) que o negro seria produzido por uma absorção completa da luz; as cores, mistura de luz e sombra, deveriam consistir de reflexos separados por absorções, que, quanto maiores, tenderiam a coloração ao violeta. Para René Descartes, as cores dependeriam das diferentes velocidades dos movimentos de rotação e de translação das partículas do éter[221].

O jesuíta Ignace-Gaston Pardiès (1636-1673), autor do manuscrito *Traité Complet d'Optique*, adepto da teoria ondulatória da luz, e que objetaria, inicialmente, à teoria da refração de Newton, sustentava, como Aristóteles, duas cores básicas: o branco, produzido pela reflexão sobre as partes redondas dos corpos; e o negro, devido à absorção pelas cavidades dos objetos; as outras cores seriam derivadas de misturas, resultantes de agitações sucessivas de matéria etérea.

Robert Hooke defendia que as cores resultariam da desigual orientação das vibrações luminosas dos corpos transparentes. O vermelho e o azul seriam as cores fundamentais autônomas. Devido aos trabalhos de Newton, viria Hooke a admitir a "diversidade infinita de cores" e postularia que a sucessão do vermelho ao azul era função da repartição das forças, hoje

[221] ROSSI, Paolo. *O Nascimento da Ciência Moderna na Europa.*

da "intensidade das vibrações do raio". Apesar de o físico Huygens não ter tratado da questão das cores, sua ideia era a de que a cor representava uma modificação da luz. Boyle, igualmente, fez experiências no campo da Óptica, tendo escrito (1667) *Experimenta et considerationes de coloribus*.

A primeira teoria moderna das cores é devida a Nicolas Malebranche (1638-1715), publicada em 1699[222]. Baseando-se na analogia entre o som e a luz, sustentaria que a amplitude das vibrações luminosas não teria influência sobre a coloração, mas apenas modificava a intensidade do fenômeno. As cores derivariam das variações diferentes de celeridade; à medida que a rapidez decresce, passa-se do branco ao amarelo, depois ao azul. A diferença com relação ao som seria que este é produzido pelas vibrações do ar (daí não percorrer o vácuo) e as cores pelas do éter. Em 1712, ao tomar conhecimento da obra de Newton, modificaria Malebranche sua teoria para admitir que cada cor seria associada a uma certa celeridade de vibração. O branco seria produzido pela superposição dessas diferentes celeridades. Malebranche admitia sete cores fundamentais. O raio luminoso, cujas vibrações são mais céleres (violeta), é desviado pelo prisma, o que confirmaria a teoria da dispersão.

Com exceção de Malebranche, todos os pesquisadores em Óptica antes de Newton trataram as cores como alterações substanciais ou cinéticas de uma luz supostamente pura. A explicação da dispersão estabeleceria como a travessia pelo prisma poderia modificar a composição e o movimento da luz. Em 1666, Newton realizaria sua famosa experiência da refração, na qual fez passar um raio de luz branca através de um prisma de vidro. O raio luminoso dividiu-se em um espectro de cores diferentes que, projetadas, formaram uma mancha alongada em que se contrapunham as cores do arco-íris. Por motivos místicos, Newton alegaria ter visto sete cores: vermelho, laranja, amarelo, verde, azul, anil e violeta. Desde então se passou a utilizar a expressão "as sete cores do arco-íris" e representar o fenômeno com sete faixas coloridas. Fazendo os raios coloridos atravessarem um segundo prisma, Newton conseguiu reconstituir o raio de luz branca, deduzindo que, longe de modificar as propriedades da luz, o primeiro prisma tinha por efeito apenas decompô-la, demonstrando que a luz branca era uma mistura de luzes de todas as cores. Em consequência, as propriedades da luz permaneceriam inalteradas por ocasião da travessia de uma placa de vidro vermelha: "esta absorve uma parte das cores da luz branca, e a luz vermelha que emerge do vidro é simplesmente aquela que não é absorvida".

De maneira mais geral, um corpo iluminado por uma luz branca absorve uma parte dos componentes dessa luz e envia aos olhos

[222] TATON, René. *La Science Moderne.*

os componentes restantes. Como escreveria Newton na *Óptica*: "toda luz homogênea tem sua cor própria que corresponde a seu grau de refrangibilidade; e esta não pode ser modificada por reflexão ou refração". Desta forma, as cores não derivariam da reflexão ou da refração, pois, na realidade são "propriedades originais e congênitas, diferentes nos diversos raios: algum raio é apto a exibir a luz vermelha e nenhuma outra, algum a amarela e nenhuma outra, algum a verde, e assim por diante, para o resto das cores"[223]. Assim, os raios luminosos não seriam coloridos, mas possuiriam certa disposição para excitar uma sensação dessa ou daquela cor. Conforme explica Rossi, já citado, a luz consistiria de raios variadamente refratáveis: a cada grau de refrangibilidade é associada uma cor primária fundamental. O violeta corresponde ao máximo grau de refrangibilidade, e o vermelho ao grau mínimo. A existência das cores não depende de perturbações da luz, a luz branca não é luz pura, mas é composta de raios que têm características diversas, é o resultado da mistura das cores contidas no espectro.

O problema da cor seria, assim, um problema físico, passível de método matemático. A coloração dos corpos seria devida aos diferentes graus de absorção das superfícies; por isso, escreveria Newton, "os raios que fazem parecer os objetos vermelhos, eu os chamo de *rubríficos* ou vermelhos, e aqueles que fazem parecer os objetos amarelos, verdes, azuis e violetas, eu os chamo de raios verdes, azuis, violetas". Os raios não seriam coloridos; neles haveria apenas certo poder para estimular uma sensação desta ou daquela cor. As cores dos objetos nada mais são do que uma disposição para refletir este ou aquele tipo de raio mais intensamente do que outros; nos raios, as cores nada mais são do que a sua disposição de propagar este ou aquele movimento no aparelho sensorial, e neste os raios se tornam sensações daqueles movimentos sob forma de cores. As cores podem manifestar certas propriedades específicas dos corpos iluminados, mas essas propriedades, nelas mesmas, não são coloríficas.

A publicação da *Opticks*, em 1704, teria uma imensa repercussão no meio científico da Europa, e graças ao prestígio de seu autor, a teoria das cores e da luz teria uma grande aceitação, apesar das reservas apresentadas por vários físicos, principalmente os cartesianos, sendo aperfeiçoada e ampliada ao longo do século XIX.

No estudo sobre a Óptica, no século XVII, deve ser registrado o grande progresso alcançado no terreno técnico[224], por meio do melhor polimento das lentes, do aperfeiçoamento do telescópio (Galileu, Huygens, Gregory, Newton), fundamental para o avanço nas observações

[223] NEWTON, Isaac. *Opticks.*
[224] TATON, René. *La Science Moderne.*

astronômicas, e do microscópio, da maior importância no desenvolvimento da Biologia (Hooke, Leeuwenhoek, Swammerdam, Malpighi). As técnicas experimentais, aliadas aos avanços teóricos, constituiriam um aporte significativo à Óptica.

6.8 Química

Ao contrário de outros ramos do conhecimento científico (Astronomia, Mecânica), nenhum desenvolvimento teórico significativo ocorreria no século XVII na Química, com exceção da Lei Boyle-Mariotte. Ideias seriam debatidas, teorias aventadas, experiências confrontadas e propostas apresentadas, mas, na realidade, as forças da tradição e do preconceito se mantiveram presentes e dominantes, assegurando a prevalência de velhos conceitos e práticas. Dado o estreito relacionamento da Química com a Física, seu desenvolvimento ficou necessariamente vinculado aos avanços nesta Ciência, o que explica sua estruturação posterior. Os grandes temas discutidos no campo da Física, como o atomismo, a matéria e os gases, seriam, igualmente, objeto de estudos e pesquisas pelos químicos, alguns deles também físicos (Boyle, Hooke), abrindo novas alternativas conceituais e enriquecendo e diversificando os argumentos a favor de uma ou outra Teoria. Tal influência, contudo, favoreceria um enfoque mecanicista, em detrimento de uma avaliação do processo químico.

Em consequência, para muitos autores, o século XVII correspondeu a um período de transição entre as concepções antigas e alquímicas e sua estruturação como Ciência, no final do século XVIII. Outros historiadores da Ciência consideram ser este período ainda uma fase evolutiva, que poderia mais adequadamente ser denominada de “protoquímica”. Outra expressão às vezes utilizada para definir esse período é o de “Alquimia--química”, dado o ainda grande número de adeptos à prática alquímica, principalmente na primeira metade do período.

O século XVII foi, assim, palco de debates, controvérsias, dúvidas e ensaios, ainda que sem avanço significativo teórico. O resultado final dessa efervescência intelectual e experimental seria, contudo, positivo, na medida em que levaria ao descrédito a prática da Alquimia e abriria novos caminhos para o advento do conhecimento químico em bases científicas.

A Química não contaria, portanto, no século XVII, com antecedentes favoráveis que lhe permitissem avanços conceituais significativos do porte do alcançado em outros ramos da Ciência (Astronomia, Mecânica,

Óptica)[225]. No período precedente, a chamada "Química técnica"[226] evoluíra no desenvolvimento de técnicas de mineração, de fundição, de metalurgia, de construção, de pirotecnia, de destilação. No âmbito conceitual, nada de importante, novo e original foi registrado, limitado à reafirmação do conhecimento recebido da Antiguidade clássica e da Escolástica. Ao mesmo tempo, a Alquimia, muito difundida desde a Idade Média, continuaria sendo cultivada e prestigiada, apesar das críticas e oposição de certos setores intelectuais e religiosos, como o da Igreja de Roma. Seu grande divulgador seria o célebre médico suíço Teofrasto Bombast von Hohenheim, conhecido como Paracelso (1493-1541), criador da "iatroquímica", ou seja, o emprego de produtos químicos na Medicina[227].

A teoria dos quatro elementos (ar, água, terra e fogo), de Empédocles, e adotada pela Escolástica, e a doutrina dos três princípios (mercúrio, enxofre e sal) da Alquimia dominariam as concepções químicas ao longo do século XVII[228]. Apesar desse fato, não há dúvida de que o novo ambiente científico permitiria surgir, no âmbito da Química, uma situação totalmente distinta da que prevalecera no período anterior. O advento de outras teorias, como as do atomismo e corpuscular, e o aprofundamento de pesquisas, por exemplo, sobre os gases e o ar, e sobre o antagonismo ácido-álcali, seriam determinantes para a confrontação de ideias. Desta forma, a convivência pacífica entre as duas doutrinas dominantes no Renascimento Científico seria desfeita no século XVII, quando novas concepções, principalmente relacionadas com a estrutura da matéria, surgiriam e ganhariam notoriedade e adeptos.

Na falta de uma nomenclatura sistemática, empregava-se, comumente, uma terminologia alquímica, fonte de confusão e imprecisão[229], porquanto os próprios químicos variavam, muitas vezes, a denominação da substância na descrição de suas experiências. Usava-se, por exemplo, cristais de Vênus para o nitrato de cobre, flores de Júpiter para o óxido de estanho, *acqua fortis* para ácido nítrico, espírito de vinho para o álcool, Lua para a prata, vitríolo da Lua para o sulfato de prata, e açafrão de Marte para o óxido de ferro. Algumas vezes a mesma substância tinha dupla nomenclatura (óleo de vitríolo e óleo de enxofre), gerando confusão e enganos.

Como Ciência experimental, a Química no século XVII beneficiou-se de uma longa tradição, particularmente alquímica, de ensaios e experiências laboratoriais, ainda que empíricos, com o auxílio de aparelhos

[225] ROUSSEAU, Pierre. *Histoire de la Science.*
[226] WOJTKOWIAK, Bruno. *Histoire de la Chimie.*
[227] COHEN, I. Bernard. *Revolution in Science.*
[228] TATON, René. *La Science Moderne.*
[229] WOJTKOWIAK, Bruno. *Histoire de la Chimie.*

e equipamentos, como tubos de ensaio, retortas, fornos e alambiques. A metodologia experimental-indutiva, preconizada por Francis Bacon, influenciaria, também, o desenvolvimento da Ciência experimental, particularmente na Inglaterra, por meio de um rigoroso e exaustivo exame dos fenômenos naturais. Robert Boyle foi seu mais ilustre discípulo, e a Sociedade Real de Londres incorporou em seus estatutos os ensinamentos baconianos, os quais serviram de guia aos experimentadores.

Alguns estudiosos e pesquisadores – químicos, físicos, médicos – aportaram contribuições relevantes e significativas para a evolução teórica e experimental da Química no século XVII, sendo, contudo, o irlandês Robert Boyle, fundador da Química independente, como assinalou o citado Wojtkowiak, o mais importante de todos. Registre-se o grande número de médicos que, nessa fase da evolução da Química, se dedicaram a seu estudo e pesquisa (Rey, Sennert, Van Helmont, Mayow, Ettmuller e Homberg, entre outros).

6.8.1 Teorias sobre a Matéria

Sobre os elementos, convém assinalar, desde já, que eram conhecidos, até meados do século XVII, apenas 13 minerais e metais (mas não como elementos): antimônio, arsênio, bismuto, carbono, cobre, ouro, ferro, chumbo, mercúrio, prata, enxofre, estanho e zinco; o 14° da lista (fósforo) foi acrescentado (1672- ?) pelo alquimista alemão Hennig Brand (1630-1692).

Várias teorias sobre a matéria e um agente universal proliferaram[230] no século XVII, ainda que baseadas nas concepções de Empédocles dos quatro elementos e da Alquimia dos três princípios. Bastaria citar as ideias de alguns químicos dessa época. O médico iatroquímico belga Jan Baptiste Van Helmont (1577-1644) defendia a teoria de um elemento básico e principal (água) e um irreprimível (ar) e três secundários (mercúrio, enxofre e sal). Ao mesmo tempo, sustentaria a existência de um solvente universal, denominado "alcaesto", cuja composição permaneceria secreta, mas de virtudes prodigiosas. Tais ideias não obtiveram apoio, nem foram acatadas por químicos contemporâneos, como Glauber, Becher, Glaser e Ettmuller.

O professor francês Nicolas Lefèbvre (1610-1674) escreveu seu famoso *Cours de Chimie* (publicação póstuma, em 1675), de grande sucesso, reeditado várias vezes, em diversos idiomas. No livro, descreveu diversas operações químicas, tratou de sais, compostos de antimônio, veneno, medicamentos, etc. Lefèbvre defendia a teoria de cinco elementos (fleugma ou água, espírito

[230] GOLDFARB, Ana Maria Alfonso. *Da Alquimia à Química.*

ou mercúrio, óleo ou enxofre, sal e terra). O professor Christoph Glaser (1628-1672), extremamente crítico da Alquimia, definiu a Química como a "arte científica pela qual se aprende a dissolver os corpos das diversas substâncias que os compõem e a voltar a reuni-las e rejuntá-las". Escreveu, em 1663, um *Tratado de Química*, onde descreveu várias experimentações.

O alemão Johann Joachim Becher (1635-1682), crente da transmutação dos metais, propôs dois elementos básicos da matéria, a água e a terra, sendo esta de três tipos: terra vítrea, ou lápida (componente vitrificável transparente), correspondente ao "princípio sal", terra gordurosa ou *pinguis* (componente ígneo) correspondente ao "princípio enxofre" e da inflamabilidade, e terra fluida ou *mercurialis* (componente sutil e volátil) correspondente ao "princípio mercúrio". Suas ideias constam da obra, publicada em 1669, *Acta laboratorii chymici monacensis seu physici subterranea*, que não despertaria interesse nos meios científicos da Europa. Essa teoria seria eventualmente aceita por Georg Stahl que, além de patrocinar a reedição da obra em 1703, formularia a doutrina do "flogisto" (do grego *phlogistos*, queimado) ou o "princípio do fogo".

O médico, farmacêutico e iatroquímico francês Nicolas Lemery (1645-1715) teve grande influência e prestígio em seu tempo. Reprovou a Astrologia, a Alquimia e algumas ideias de Paracelso, e procurou aproximar a Química da Alquimia, definindo a primeira como "a arte que ensina a separar as diferentes substâncias que se encontram misturadas" e a Alquimia como a química que ensina a transmutação dos metais. Defendeu que não se deveria procurar nos planetas as qualidades e virtudes dos metais, mas bem mais perto[231]. Escreveu em 1675 um *Cours de Chimie*, de grande sucesso, reeditado várias vezes em diversos idiomas. Nessa obra, o autor tratou de sais, compostos de antimônio, veneno, medicamentos, etc., e descreveu diversas operações químicas; no exame do antagonismo ácido-álcali, estudou a reação da neutralização, que produz, em muitos casos, efervescência, mas sempre desprendimento de Calor, sendo responsável "pela interpretação de que esse antagonismo lembrava imagens de combate e de penetração mútua"[232]. Distinguia Lemery os princípios ativos (água, espírito, óleo, sal e terra) e os passivos (mercúrio e enxofre). Para esses autores (Lefèbvre, Glaser, Becher e Lemery), todos os elementos deveriam estar em todo e qualquer corpo.

Além dessas teorias influenciadas pelas escolas tradicionais sobre a matéria, ressurgiria, no século XVII, graças ao físico francês Pierre Gassendi, a teoria atomista, de Demócrito e Epicuro, defendida, entre outros, na esfera da Química, pelo médico holandês Daniel Sennert

[231] LAFONT, Olivier. *De l'Alchimie à la Chimie.*
[232] TATON, René. *La Science Moderne.*

(1572-1637), baconiano, o qual procuraria explicar os fenômenos químicos por uma síntese das pequenas partículas e dos elementos. Em obra de 1619, expôs sua teoria atomista, em que as pequenas partículas tridimensionais seriam indivisíveis. Apoiava o uso da Química na Medicina, mas rejeitava as concepções místicas de Paracelso.

O alemão Joachim Jungius (1587-1657), muito conceituado em sua época, desenvolveu, em 1642, uma teoria corpuscular da matéria, e procurou definir os elementos químicos, atribuindo propriedades diferentes aos corpos compostos dos mesmos elementos, mas com repartição espacial diferente (antecipando-se, assim, à noção de isomeria)[233].

Robert Boyle (1627-1691) é considerado o mais brilhante químico teórico e experimentador do século XVII. Filho do Conde de Cork, aristocrata de imensa fortuna, Boyle nasceu no castelo de Lismore, na Irlanda. Recebeu, desde cedo, esmerada educação, tendo ingressado em Eton, onde estudou até 1638. Viajou ao continente europeu, onde permaneceu alguns anos em companhia de um irmão, Francis, e um tutor. Na Itália, teria conhecido Galileu, de quem teria recebido ensinamentos sobre Mecânica; na França, manteve contato com o atomista Pierre Gassendi e estudou a obra filosófica e científica de Descartes. De volta à Inglaterra, estudaria a obra de Francis Bacon, de quem se tornaria o mais importante adepto e divulgador. As influências de Galileu, Gassendi, Descartes e Bacon seriam decisivas para sua formação intelectual, filosófica e científica. Boyle seria um cartesiano atomista, mecanicista, pesquisador e experimentador meticuloso, de raciocínio claro e preciso, ao mesmo tempo em que, profundamente religioso, adotaria um entendimento metafísico dos fenômenos, como, aliás, a grande maioria dos cientistas da época. Seu lema era *nullius in verba* (nada que seja por mera autoridade).

Possuidor de imensa fortuna, Boyle pôde dedicar-se totalmente à Ciência, em especial à Química, à Física e à Biologia. Manteve correspondência e contatos com intelectuais e pesquisadores ingleses e do continente europeu, e construiu seu próprio laboratório para pesquisas, contando com colaboradores do nível de Hooke, Papin e Mayow, entre outros. Participou da fundação da Sociedade Real (1644), assegurando a adoção, pela Instituição, da orientação e metodologia baconianas. Prestigiou o vernáculo, escrevendo sua extensa obra em inglês. Por sua extensa e valiosa contribuição, Boyle é considerado o fundador da Química independente, o criador da Química analítica, cuja expressão foi cunhada por ele, e responsável pela definitiva separação entre a Química e a Alquimia.

[233] WOJTKOWIAK, Bruno. *Histoire de la Chimie.*

Dedicado à pesquisa e à experiência laboratorial, procurou Boyle assentar a Química sobre os fundamentos da experimentação e da Análise. Em seus escritos, estabeleceu como objeto da Química o estudo das substâncias e de suas propriedades, sem qualquer preocupação alquímica e iatroquímica. Discípulo de Bacon, melhorou os procedimentos existentes na pesquisa, postulou o estudo quantitativo das mudanças químicas e enfatizou a necessidade de se trabalhar com substâncias homogêneas puras.

Criador da Química analítica, introduziu Boyle o uso de novos reativos, como o nitrato de prata para os cloretos, o gás amoníaco para o gás clorídrico, e o sulfato de amônio. Até então, o único meio de reconhecer o ácido era por seu gosto picante; Boyle identificaria os ácidos, bases e substâncias neutras pela introdução da técnica da mutação cromática, hoje chamada de indicadores de ácido-bases. Boyle usou xarope de violeta, que, em solução ácida adquiria a cor vermelha e em solução básica a cor verde, enquanto as substâncias neutras não mudavam de cor. Separou o metanol do ácido acético e preparou acetona do acetato de chumbo. Verificou, também, que a água se expandia quando num processo de congelamento e fez experiências com o recém-descoberto elemento fósforo.

Sua principal obra é *O Químico Cético* (*The Sceptical Chemist*), publicada em 1661, considerado, por muitos, como início da Química Moderna, na medida em que significou sua afirmação como área de pesquisa autônoma e o fim das doutrinas dos quatro elementos e dos três princípios. A exemplo de Galileu, escreveu sua obra em forma de diálogo entre três personagens, um aristotélico, um defensor das ideias de Paracelso e outro, de nome Carneades, o químico cético (no caso, o próprio Boyle). A crítica aos três princípios[234] era a de que não poderiam existir, uma vez que, por meio da Análise química dos compostos, chegava-se à conclusão de que a substância mais simples em que tais compostos se dividiam, variava em número (às vezes mais, às vezes menos de três) e no tipo de substância básica nos diferentes compostos. Não havendo homogeneidade, não poderiam os três princípios básicos ser considerados como formas universais da matéria. Boyle era cético porque não pretendia continuar a aceitar as antigas conclusões deduzidas de princípios sem qualquer constatação ou tentativa de comprovação verificável. Haveria que testar um suposto elemento de forma a constatar se tratava-se realmente de uma substância simples que pudesse ser decomposta em substâncias mais simples; em caso afirmativo, tal suposto elemento não seria um verdadeiro elemento. Duas substâncias simples (elementos) poderiam se combinar formando um composto; nesse caso, o composto

[234] GOLDFARB, Ana Maria. *Da Alquimia à Química.*

poderia ser dividido em seus elementos formadores iniciais. Boyle não sabia, entretanto, quais substâncias seriam os verdadeiros elementos[235], tendo inclusive, erroneamente, excluído os metais dessa possibilidade.

Hoje em dia, sete metais (ouro, prata, ferro, cobre, estanho, chumbo e mercúrio) e dois não metais (carvão e enxofre), conhecidos desde a Antiguidade, são reconhecidos como elementos, bem como quatro substâncias utilizadas pelos alquimistas medievais (arsênico, antimônio, bismuto e zinco).

O personagem Carneades sugere, então, a hipótese corpuscular sobre a formação da matéria. Os estudos sobre os corpos sólidos e líquidos, desde a Antiguidade, não eram favoráveis à teoria atomista, já que tais estados dos corpos têm muito baixa compressibilidade. A partir da descoberta dos gases, por Van Helmont, e da lei da compressibilidade dos gases, de Boyle-Mariotte, pareceu a muitos pesquisadores que as características do estado gasoso poderiam indicar serem os gases formados por pequenos átomos separados por espaços vazios, que, quando comprimidos, aproximavam, física e espacialmente, as partículas. Aceita essa hipótese para os gases, passou a ser mais fácil estendê-la para os sólidos e líquidos. Ao analisar o ar, concluiu Boyle que, além de meio para a propagação do som, seria o ar compressível por ser constituído de minúsculas partículas que se moviam no vácuo; esses corpúsculos indivisíveis dos diversos elementos se diferenciavam pelo tamanho, forma e movimento. Esses corpúsculos estariam sempre em movimento, que aumentaria com o Calor. Todos os fenômenos naturais se explicariam, não pelos elementos de Empédocles/Aristóteles, e as qualidades a eles atribuídas, mas pelo movimento e organização das partículas primárias, e a variação de suas propriedades era atribuída a formas e movimentos diferentes das partículas da matéria.

Boyle foi o primeiro a dar uma definição de "elemento" (não o conceito) em famosa passagem de seu citado livro:

> Entendo por elementos... certos corpos primitivos e simples ou perfeitamente não misturados que, não sendo constituídos por outros corpos, ou um do outro, são os ingredientes dos quais todos os corpos perfeitamente mistos são imediatamente compostos, e nos quais estes se resolvem quando divididos até as últimas conseqüências.

Por "corpos perfeitamente mistos" entendia Boyle, substâncias compostas, consideradas distintas das misturas mecânicas. É bastante

[235] MASON, Stephen. *Historia de las Ciencias.*

conhecida, também, sua afirmação de que elemento é a substância incapaz de decomposição.

Em outra importante obra *A Origem das Formas e Qualidades*, de 1666, Boyle daria sua visão do Universo mecânico, em que as qualidades fundamentais seriam a matéria e o movimento. Declarou-se adepto do atomismo e afirmou que qualquer combinação química seria o resultado de uma reação entre partículas elementares:

> Existem conjuntos nos quais as partículas não se ligam intimamente entre si, mas podem encontrar-se com corpúsculos de outra denominação e estarem dispostas a se unir mais intimamente com algumas delas do que entre si mesmas.

Sua concepção, de Universo, portanto, baseava-se na existência inicial de matéria universal comum a todos os corpos, verdadeira *prima naturalia*[236], constituída de inumeráveis partículas sólidas, fisicamente indivisíveis e imperceptíveis, que se moviam no vácuo; estas se associariam em grupos maiores que, por sua vez, agiam como unidades nas reações químicas (hoje moléculas). São os corpúsculos secundários, cujo tamanho e forma definiriam as propriedades físicas das substâncias. Nesta categoria, estariam os metais, que na época eram considerados substâncias compostas. A teoria corpuscular de Boyle não teria muito sucesso, ainda que bem articulada, buscando explicações experimentais, sem auxílio de conjecturas ocultas ou metafísicas[237].

No campo da Biologia, em colaboração com Richard Lower (1631-1691), John Mayow (1645-1679) e Robert Hooke, fez Boyle pesquisas sobre a respiração humana e animal, fenômeno associado à combustão, também sob exame. A conclusão foi a de que a transformação, nos pulmões, do sangue venoso vermelho escuro em sangue arterial vermelho brilhante se devia a que a parte do ar absorvido deste modo cumpria uma função no corpo semelhante ao desempenhado pela combustão[238]. Nessas pesquisas, comprovaria a importância do ar para a vida animal e vegetal, sendo necessário para o crescimento das plantas. Deixou Boyle uma vasta obra, escrita entre 1660 e 1691. Além de *O Químico Cético* (1661), seu mais importante livro, devem ser mencionados, entre outros, *Ensaios Fisiológicos*, de 1661; *Ensaios sobre experimentos com fogo e chama e considerações sobre as cores*; *História experimental do frio*; *História geral do ar*; *Origem das formas e das qualidades, segundo a filosofia corpuscular*; *Notas sobre a origem mecânica*

---

[236] BARBOSA, Luiz Hildebrando Horta. *História da Ciência.*
[237] GOLDFARB, Ana Maria. *Da Alquimia à Química.*
[238] MASON, Stephen. *Historia de las Ciencias.*

ou produção de diversas qualidades particulares; A excelência e as bases da filosofia corpuscular ou mecânica; Suspeitas sobre qualidades escondidas no ar; Novos experimentos para produzir fogo e chama estáveis e ponderáveis; Novos experimentos físico-mecânicos sobre a mola do ar e seus efeitos; Defesa da doutrina sobre a elasticidade e peso do ar; Aerial noctiluca (1680); e *Icy noctiluca* (1681).

6.8.2 O Ar e o Gás

O iatroquímico belga Jan Baptiste van Helmont (1577-1644) foi o mais significativo vulto da "protoquímica" na primeira metade do século XVII. Sua extensa obra, coligida e publicada postumamente, em 1648, por seu filho, sob o título *Artus medicinae vel opera et opuscula omnia*, foi reimpressa várias vezes, em francês e inglês. Foi o primeiro a aplicar princípios químicos ao estudo dos problemas fisiológicos, como o álcali para corrigir acidez; daí ser considerado um dos pioneiros da Bioquímica. Em seu entendimento, a digestão nos seres humanos era equivalente à fermentação química, e, portanto, todas as secreções viscerais podiam ser classificadas da mesma forma que os produtos finais da fermentação, em ácido ou alcalino. Com isto, pretendia unificar, por meio de analogias, a Química e a Fisiologia[239]. No campo da pesquisa médica, analisou o sangue e a urina, descobrindo a existência de sal marinho em ambos e do carbonato de amônio na urina. Acreditava na geração espontânea. A Química quantitativa daria com van Helmont seus primeiros passos, pois se utilizou com frequência da balança, advogando seu uso constante nas experiências químicas; a medição e a pesagem seriam práticas indispensáveis na experimentação química.

Profundamente religioso e místico, antiaristotélico e anticartesiano, foi van Helmont um pesquisador controvertido e paradoxal. Rejeitaria a teoria pagã dos quatro elementos, mas aceitaria ideias alquímicas, como a da pedra filosofal e a da transmutação, tendo, inclusive, descrito sua experiência na transformação do mercúrio em ouro. Contestava a qualidade de elementos à terra e ao fogo, meros agentes de transformação. Na busca de um elemento universal, rejeitaria os três princípios de Paracelso (mas praticava a iatroquímica) e, influenciado pelo *Gênese*, atribuiria à água, como Tales, a função do princípio material de todas as coisas. Para demonstrar sua teoria, van Helmont cultivaria, por cinco anos, um salgueiro em uma quantidade medida de terra com a adição apenas de água; após esse tempo, a árvore ganhara peso e a quantidade

[239] GOLDFARB, Ana Maria. *Da Alquimia à Química.*

de terra diminuíra, comprovando a ação da água na alimentação da planta (negligenciando, contudo, o papel do ar). O ar era reconhecido como um "elemento incoercível", mas sem participar da constituição da matéria, como esclareceu Maurice Daumas, e não seria conversível em água.

Em suas experimentações, constataria van Helmont que muitas reações químicas produziam vapores com propriedades diferentes. Ao contrário dos líquidos e dos sólidos, os vapores não apresentavam um volume fixo e tendiam a preencher completamente seus recipientes. Por causa dessa propriedade, considerou van Helmont que tais vapores se encontravam em estado de caos. Esse vapor ou espírito desconhecido seria um espírito silvestre ou selvagem, para o qual cunhou o termo gás, pronúncia flamenga para a palavra grega *caos*. Na realidade, não teve van Helmont a noção da existência de vários gases, mas a de que todos os corpos gasosos dispersos no ar eram um só gás com propriedades diferentes, segundo as circunstâncias. O gás poderia ser inflamável, como o liberado pela destilação das matérias vegetais, como poderia também ser produzido pela fermentação, pela ação dos ácidos sobre os carbonatos e pela decomposição dos sais pelo Calor. Toda essa variedade se confundiria com a água, o elemento primordial. O vapor d'água condensado perde água e condensação aquosa na maioria das reações provocaria o nascimento do gás.

Importante assinalar que o gás não deveria ser confundido com o ar, que seria um elemento irreprimível, sem participar da constituição da matéria. Tal distinção seria importante, pois até então o ar era o único elemento gasoso conhecido e sua integridade absoluta. O ar não seria conversível em água, nem esta em ar, pois o ar seria única substância distinta da água, matéria constitutiva da Natureza. Como demonstra a condensação do vapor d'água, este não é, assim, um gás. O ar poderia transformar-se, unindo-se às matérias voláteis, para formar o gás, mas com ele não se confundiria Jan Baptiste van Helmont retiraria do ar qualquer função na combustão, na oxidação e na respiração animal[240]; aliás, era opinião generalizada entre os estudiosos da época não caber ao ar qualquer papel na Química.

O médico francês Jean Rey (1583-1645) contestaria a teoria de van Helmont, salientando a importância do ar no processo. A propósito de consulta de um farmacêutico sobre o motivo de o estanho e o chumbo aumentarem de peso quando calcinados, investigaria a questão, concluindo que o ar seria a causa do aumento do peso dos metais, colocando-se, dessa forma, contra a opinião generalizada sobre o assunto. Ainda segundo

[240] TATON, René. *La Science Moderne.*

Rey, o ar se prenderia à cal, resultante do aquecimento; quando todas as partes da cal estivessem unidas ao ar, o processo se interromperia, pelo que a cal carregaria apenas uma quantidade determinada de ar absorvido. Dessa forma, os metais aumentavam de peso, devido ao peso desse ar entranhado. Essa interpretação mecânica do fenômeno, que não considerava o processo como uma combinação química do ar com o metal, tinha, no entanto, o mérito de reconhecer, pela primeira vez, o papel do ar no processo, mas não obteve apoio em seu tempo[241], assunto que seria retomado apenas no século XVIII. Sobre o tema, Rey publicaria, em 1630, o *Ensaio sobre a pesquisa da causa pela qual o estanho e o chumbo aumentam de peso quando calcinados*.

Ao mesmo tempo, no campo da Física, pesquisadores estudavam as questões conexas do vácuo e do ar. As experiências de Torricelli e Viviani, de 1644, comprovariam o vácuo e o peso do ar, confirmados pela célebre demonstração da "subida da montanha" por Pascal, em 1647, pela qual o peso do ar atmosférico diminuía com a elevação da altitude. Na sua formulação da lei de que a pressão age uniformemente através de um fluido, o ar passaria a ser tratado como um fluido. O engenheiro e cientista experimental alemão Otto von Guericke ao tentar, em 1654, extrair água de um tonel de vinho, bombeou ar através de um equipamento que se transformou na primeira bomba de vácuo.

Inicialmente, para Robert Boyle, o ar era apenas uma "substância inerte, insuficiente para manter a chama de uma vela acesa, na cúpula da bomba a vácuo, mas que guardava, porém, sua elasticidade até o último momento, quando finalmente removido"[242]; escreveu sobre o tema alguns ensaios, como *Novos experimentos para produzir fogo e chamas estáveis e ponderáveis*.

Conhecedor das recentes experiências em Pneumática, dos experimentos em calcinação dos metais e da comprovação do vácuo e do peso do ar, Boyle, com a ajuda de Hooke, aperfeiçoaria o equipamento, em que um barômetro era acoplado à bomba para medir a pressão do ar. Com base em suas experiências, escreveria Boyle, em 1660, um ensaio *Novos experimentos físico-mecânicos sobre a mola do ar e seus efeitos*, seguido de outro, intitulado *Defesa da doutrina sobre a elasticidade e o peso do ar*. Daí surgiria a famosa relação de pressão e volume, em que a "pressão e a expansão estão em proporções recíprocas". A *Lei da Compressibilidade* de Boyle data de 1661, e estabelece que o volume de um gás é inversamente proporcional à pressão, ou seja, se a pressão de um gás dobrar, seu volume cai para a metade.

[241] MASON, Stephen. *Historia de las Ciencias.*
[242] GOLDFARB, Ana Maria. *Da Alquimia à Química.*

O monge Edme Mariotte (1620-1684) publicaria, em 1676, um ensaio no qual demonstraria, igualmente, mas de forma independente, a compressibilidade dos gases, desde que a temperatura constante; com esse acréscimo, a lei é hoje conhecida também como lei de Boyle-Mariotte, a primeira lei física do gás.

Conforme explicou a já citada Goldfarb, o interesse despertado em Boyle pelo recém-descoberto elemento fósforo (1672 - ?) seria determinante na reavaliação de suas ideias sobre o papel do ar na Química. Após várias tentativas, obteve o produto luminescente, coletando-o em água para evitar sua combustão total. Conseguiu prepará-lo em duas formas: a sólida, que chamou de *icy noctiluca* e a líquida, ou *aerial noctiluc*, que só brilharia na presença de ar. À respeito, Boyle escreveu dois livros: *The Aerial Noctiluca* (1680) e o *The Icy Noctiluca* (1681), nos quais descreveu suas atividades experimentais com o fósforo. Deteve-se longamente na pesquisa da solubilidade, da acidez e da inflamabilidade de tais compostos, bem como no aumento e na diminuição da luminosidade, "num estudo que não seria superado até o século passado"

A partir daí, Boyle formularia várias hipóteses, como a de que o ar tivesse alguma substância salina causadora de um tipo de fermentação e a de que as partículas de ar poderiam ter-se associado àquelas do interior do frasco de tal forma violenta que sua agitação produziria luz. Concluiria Boyle, de suas pesquisas, que seria mais provável, nessa última hipótese, o ar não ter sofrido qualquer processo de reação, mas, combinado com certas exalações da substância, ter permitido torná-las visíveis. Conforme menciona Goldfarb em seu citado livro, parece ter ficado claro para Boyle, em seus experimentos, que ao menos uma parte do ar era fundamental para combustão, respiração e oxidação. Esta parte seria apenas agregada ao ar, uma espécie de "espírito vital", não pertencente, de fato, ao eflúvio elástico aéreo.

Em seu ensaio *Suspeitas sobre as qualidades escondidas do ar*, Boyle explica desconfiar de que, dispersa pela atmosfera, deve existir certa substância "solar, astral ou de alguma maneira de natureza exóptica", carregada pelo ar (assim como o são as partículas de água, sal e outras substâncias), constituindo uma segunda parte deste. Seria essa parte "coadjuvante" do ar que se inflamaria, reagiria e se tornaria indispensável para a vida. Conforme ainda esclarece a citada autora Goldfarb, "esta segunda parte do ar refere-se a uma substância diferente do próprio ar". Tratava-se do que Boyle chamava de espírito vital ou nitro volátil ou ainda nitroaéreo. O ar era uma substância inerte, sendo a causa de sua elasticidade a forma de mola das partículas.

Boyle não ignorou o ar em seus experimentos químicos, apesar de seus trabalhos sobre o ar atmosférico tenderem mais para a pesquisa das suas propriedades físicas. Observou, com justeza, a importância do ar na mudança das cores de certas soluções, como a de cobre em amônia, que só se tornava azul quando o frasco era aberto; na mudança para verde da solução de cobre em ácido clorídrico na presença do ar; na cristalização de certos líquidos; e na solidificação de certos sais higroscópicos[243]. Na oxidação e na combustão, o papel do ar seria irrelevante, para não dizer inexistente, ao contrário de sua função vital na respiração. O ar, como substância química, só viria a ser entendido no final do século seguinte, graças às teorias de Lavoisier sobre a conservação da matéria.

Especificamente quanto aos gases, Boyle os considerava como "ares artificiais", obtidos por meio da dissolução de metais em ácidos fortes ou da putrefação de materiais orgânicos; esses ares artificiais eram tidos como agregados de diferentes eflúvios que continham algumas partículas de ar geradas ou extraídas do meio. Não havia, assim, muito clara distinção entre ar atmosférico e ar artificial, pelo que Boyle não acompanharia a posição de van Helmont, de que ar e gás seriam substâncias distintas.

Para Boyle, como para os químicos do século XVII, o fogo teria um papel da maior relevância, em detrimento da função real do ar no processo químico. Suas conclusões, por exemplo, das pesquisas efetuadas sobre a calcinação dos metais eram no sentido de explicar ser o aumento do peso devido ao fogo, e não à ação do ar. Marie Boas, citada por Goldfarb, comenta ter Boyle falhado

> ao notar o papel do ar porque não estava interessado em combustão ou calcinação *per se*, nem mesmo em tentar mostrar (o que ele já sabia) que todos os metais ganham peso quando aquecidos. Ele queria entender por que ganhavam peso; acreditava que era, eminentemente, razoável assumir que o fogo era uma substância quimicamente ativa (muito mais razoável do que assumir que o ar era quimicamente envolvido) e a partir daí planejou experimentos para provar isto[244].

Em suas várias experiências, Boyle pesou diversos metais antes e depois da calcinação, anotando, com pormenores, as diferenças de pesos nesse processo; repetiu tais experimentos em frascos abertos e fechados, mas concluiria ser o aumento de peso resultado da ação do fogo, sem atentar para a importância do ar. Haveria, assim, um envolvimento

[243] GOLDFARB, Ana Maria. *Da Alquimia à Química.*
[244] GOLDFARB. Ana Maria. *Da Alquimia à Química.*

químico do fogo nessas operações de calcinação[245], verdadeiro e único responsável pelo fenômeno.

Haveria que esperar por Lavoisier para se entender a combustão, a oxidação e o papel do ar (oxigênio) na reação química.

6.8.3 A Química dos Sais e o Nitro

A falta de apoio à teoria do elemento água, de Van Helmont, não significaria o abandono pelos pesquisadores do elemento universal. Experimentos de médicos e químicos indicavam ser essencial o ar para a respiração, mas não lhe era reconhecida qualquer função no processo químico. A procura de um elemento fundamental, presente em todos os corpos, se concentrou naquelas substâncias de reação química mais viva e evidente, no caso, os sais. Destes, o nitro foi o mais estudado, e seria considerado por muitos como o elemento essencial.

As qualidades do nitro eram conhecidas havia muito tempo, com seu emprego na agricultura, como fertilizante e na pólvora, como detonador. Acreditava-se, ainda, em sua presença no ar, como pareciam mostrar certos fenômenos naturais (descargas atmosféricas) e as "virtudes fertilizantes da chuva e da neve"[246]. Dado seu grande poder detonador, o nitro passaria a ser admitido como o agente universal, responsável tanto pelas reações químicas, quanto pelos numerosos fenômenos naturais que tivessem alguma analogia com as propriedades do nitro. Em consequência, o grande interesse suscitado pelos sais no século XVII equivaleria ao papel da Química dos metais no século precedente e da Química dos sulfuretos na Idade Média, como esclareceu o já mencionado Maurice Daumas.

O físico e químico holandês Cornelius Drebbel (1572-1634) teria, por decomposição do nitro, obtido um gás (oxigênio) que permitia a respiração, conforme relatado por Boyle em 1660. O experimento não teve, contudo, muita repercussão. O francês Nicola Lefèbvre teria dito que o Sol gera o nitro.

O médico e químico John Mayow (1640-1679), discípulo de Boyle, verificou, após muitas experiências, que o nitro aquecido num recipiente sem ar desprendia "algo" como um gás (oxigênio), que chamou de "nitroaéreo". Em 1668, escreveu *Tratactus duo*, no qual expôs sua teoria da respiração, que seria, mais tarde, aperfeiçoada e expandida no *Tratactus quinque medico-physici* (*Cinco Tratados Médico-Físicos*), de 1674, com

[245] TATON, René. *La Science Moderne.*
[246] TATON, René. *La Science Moderne.*

observações sobre respiração e combustão. Mayow sugeriu que a "parte vital do ar", indispensável à respiração e à combustão, se compunha de partículas nitroaéreas contidas no nitro e no ácido nitroso. Adepto, como Boyle, da teoria mecanicista, a ação das partículas nitroaéreas era, em grande medida, mecânica, sem a ocorrência de combinação química. A ferrugem, por exemplo, se deveria ao desgaste produzido por essas partículas, enquanto que a contração muscular derivava de seus movimentos mais rápidos nos músculos, e a fome era provocada pelas partículas ao tocarem as paredes do estômago. O Calor e a luz seriam resultado de movimento rápido das partículas nitroaéreas, enquanto o frio e o azul do céu decorreriam de tais partículas estarem em repouso. Para Mayow, a "partícula nitroaérea" corresponderia a um "princípio fundamental", ao lado do sal e do enxofre.

O engenheiro e inventor Otto von Guericke observaria, em seus experimentos relatados em 1657, que um corpo inflamado se apagaria num recinto fechado, mas não chegou a nenhuma conclusão do ponto de vista de seu papel na combustão ou na oxidação. Robert Hooke se interessou, igualmente, pela combustão e faria experimentos com o nitro (*Micrographia*, 1665), considerando-o uma substância semelhante àquela contida no salitre. Como o salitre existente na pólvora queima sob a água, Hooke estendeu essa ideia a todos os corpos combustíveis, e concluiu que o ar continha um "solvente" que permitia a ocorrência da combustão.

Para os químicos da época, o nitro contido no ar não era um gás, mas um sal; Boyle chamou de nitro volátil, e Hooke, como Mayow, de nitroaéreo. Para o médico e químico alemão Michael Ettmuller (1644-1683) tratava-se do "elemento fundamental", o "sal distribuído na Criação por todo o Universo, e denominado vulgarmente 'espírito do Mundo', que estaria misturado no ar". Ettmuller acrescentaria que "o sal universal gera duas diferentes matrizes do sal particular, que é de duas espécies: o ácido e o álcali". O sal seria um fermento ativo, devido ao antagonismo ácido-álcali.

O avanço no conhecimento dos sais em geral não levou a uma compreensão dos fenômenos da oxidação e da combustão, nem à identificação do elemento oxigênio, mas contribuiria para o desenvolvimento da Química industrial.

6.8.4 Química Industrial

A "Química industrial" nasceu no século XVII, muito em função da crescente demanda desses produtos, motivada pelo desenvolvimento

econômico em diversas partes da Europa. Além do já mencionado Joachim Becher, vários outros químicos, especialmente na Alemanha, França, Suécia, Holanda e Inglaterra, dedicaram-se a essas atividades. O mais importante de todos foi o alemão Johann Rudolph Glauber (1604-1670), considerado o fundador da Química industrial[247]. Escreveu extensamente, sendo seus principais escritos publicados em 1661, em sete volumes, com o título de *Opera omnia*. Interessou-se Glauber pela preparação de ácidos minerais, aperfeiçoou métodos de fabricação do ácido sulfúrico, do ácido nítrico e do ácido clorídrico, preparou vários sais, inclusive o sulfato de sódio, conhecido também como "sal de Glauber", estudou a dupla decomposição dos sais; Glauber, pela destilação da hulha, obteve um óleo constituído de benzina e de fenol, que seria utilizado para secar e curar úlceras, melhorou os procedimentos para a obtenção de óleos aromáticos, mostrou a presença de glicose no mel e em outros produtos naturais, trabalhou com explosivos e fabricou pedras preciosas artificiais.

O alemão Johannes Kunckel (1630-1702) fabricou vidros, rubis e outras gemas artificiais. Escreveu *Ars vitalis experimentalis* (1679-1689).

O químico e médico holandês Wilhelm Homberg (1652-1715), membro da Academia de Ciências da França, trabalhou nesse país alguns anos, a convite de Colbert. Descobriu o ácido bórico (1702) e criou um procedimento para produzir o fósforo, popularizando-o na França. Estudou Homberg os ácidos e os óleos essenciais vegetais, tendo, inclusive, aperfeiçoado as técnicas de extração desses óleos. Interessou-se pelos metais, estudando as causas de seu aumento de peso quando calcinados. Foi o primeiro a calcular a densidade do ar, estimando-a em 1,2 grama por litro (valor atual é de 1,293 grama por litro) [248].

6.9 História Natural

A descoberta de novas e inexploradas terras (América, Ásia e África) e de novos animais e plantas, a divulgação do conhecimento antigo (Aristóteles, Teofrasto, Dioscórides, Plínio) e a expansão comercial e manufatureira europeia foram alguns dos fatores de retomada, no século XVI, dos estudos e trabalhos no campo da chamada "História Natural". Seus pesquisadores se dedicaram, principalmente, à compilação, descrição e classificação do material sob exame, com vistas a sua

[247] WOJTKOWIAK, Bruno. *Histoire de la Chimie.*
[248] WOJTKOWIAK, Bruno. *Histoire de la Chimie.*

utilização pela Sociedade. O objetivo era utilitário, sem grande interesse pelo conhecimento científico. No caso particular da Botânica, o estudo da flora era principalmente voltado para a determinação das qualidades terapêuticas da planta. Como escreveu Fuchs:

> não há qualquer razão para que eu me alargasse sobre o prazer e o deleite de adquirir conhecimento sobre as plantas... mas acresce não pouco a esse prazer e deleite se se lhe juntar um reconhecimento das virtudes e poderes dessas plantas"[249].

Nessa época, não havendo "biólogos" ou "geólogos", as pesquisas, em sua quase totalidade, eram efetuadas por médicos, os verdadeiros "naturalistas". Na falta de uma razão superior para elevar tais estudos acima de uma mentalidade lexicográfica e descritiva, ou de um enfoque terapêutico, não haveria condições para a fundação da Geologia, Botânica e Zoologia como Ciências estruturadas e independentes. O testemunho de Adam Zaluziansky (1558-1613), em 1592, é bastante claro e eloquente quanto à situação da Botânica naquele século:

> É costume ligar a Medicina à Botânica, e todavia o tratamento científico exige que consideremos cada uma delas separadamente. Pois o fato é que em toda a arte a teoria deve estar desligada e separada da prática, e as duas devem ser tratadas isolada e individualmente na ordem que lhe é própria antes de serem unidas. E por essa razão, para que a Botânica, que é (como que) um ramo especial da Filosofia Natural, possa formar uma unidade por si, antes de poder ser posta em ligação com outras Ciências, há que ser dividida e liberta do jugo da Medicina[250].

O desenvolvimento econômico e comercial, a expansão e exploração colonial e o surgimento de um espírito crítico e analítico condicionariam a evolução da História Natural no século XVII. Nesse processo, contudo, papel de maior relevância coube aos instrumentos científicos, em especial o microscópio, que, aperfeiçoados, permitiriam uma extraordinária melhoria na qualidade da pesquisa. Nesse novo quadro histórico e cultural, os médicos, integrantes da intelectualidade, continuariam a predominar nos meios "naturalistas". Interessados nas áreas afins dos minerais, flora e fauna, os médicos viriam a ser os responsáveis pela reversão da tendência de limitar o trabalho ao âmbito descritivo e terapêutico, para incluir o

[249] HALL, A. Ruppert. *A Revolução na Ciência – 1500 – 1750.*
[250] HALL, A. Ruppert. *A Revolução na Ciência – 1500 – 1750.*

exame do processo de funcionamento do organismo vivo. A Fisiologia, a reprodução, a sexualidade e a nutrição, vegetal e animal, viriam a merecer, assim, uma atenção especial dos "médicos naturalistas". Os esforços de classificação dariam frutos na Botânica, com os trabalhos de Cesalpino, e na Zoologia, com a adoção dos dados anatômicos como critério taxonômico, em vez dos costumes e *habitat* dos animais[251]. É importante atentar que nesse período – que, na realidade, se estenderia do século XVI ao XVIII – não havia um nítido limite entre a Botânica e a Zoologia, tanto que muitos autores estudaram e escreveram sobre as duas áreas.

Ao contrário das Ciências Exatas, cultivadas pelos matemáticos, a História Natural não empregaria o "método quantitativo" como instrumento em suas observações e análises, devido a que a grande maioria de seus pesquisadores não tinha grande conhecimento matemático, nem achava adequada sua utilização em suas áreas de atividade. Os naturalistas não foram capazes, contudo, de elaborar, no século XVII, uma metodologia científica própria nesse campo, o que prejudicaria a evolução de seus estudos e pesquisas. Nesse sentido, deve-se ter presente a assimetria no desenvolvimento cronológico das Ciências Exatas e das Ciências Naturais, as quais só viriam a se estruturar e se tornar independente nos séculos seguintes.

Menos conflitivas que outros ramos do conhecimento humano, a Botânica e a Zoologia não enfrentariam críticas, oposição e problemas de ordem religiosa, que deflagrassem polêmica prejudicial ao encaminhamento dos estudos (exceção para a dissecação); o mesmo não se aplicaria à Geologia que, além de acirrada controvérsia em Cosmogonia e Paleontologia, teria suas bases como Ciência estabelecidas por Niels Steno.

6.9.1 Geologia

O termo "Geologia", no sentido moderno, compreende o conjunto dos estudos sistemáticos da constituição, estrutura e História da Terra, e dos seres que aí viveram. Nesse sentido, a Geologia engloba um grande número de "Ciências" ou disciplinas, como a Cosmogonia, a Geologia física, a Paleontologia, a Estratigrafia e a Petrologia. Conforme esclareceu Raymond Furon, a palavra "geologia" foi usada, pela primeira vez, na obra do dinamarquês Michael Escholtz, em 1657, intitulada *Geologia norvegica;* em 1690, Erasmus Warren publicaria *Geologia, ou Exposição a respeito da Terra antes do Dilúvio*[252].

[251] MAYR, Ernst. *Histoire de la Biologie.*
[252] TATON, René. *La Science Moderne.*

O conhecimento geológico da Terra derivava, fundamentalmente, desde a Antiguidade, de especulações e ensinamentos de cunho mitológico ou teológico, provenientes da cultura e da crença populares. As pesquisas efetuadas até o século XVI tinham, invariavelmente, uma explicação de cunho religioso ou de comprovação de passagens de textos sagrados.

Extraordinários acontecimentos nos séculos XV e XVI, acerca do Globo (Novo continente, descobertas geográficas e astronômicas, novos povos, plantas, animais e minerais, esfericidade da Terra, fósseis, etc.), despertariam natural interesse e curiosidade a respeito da estrutura, formação, composição e história do planeta. O debate decorrente das novas pesquisas e descobertas, resultante de novos estudos nessa área, e o surgimento de novas metodologias de caráter científico para o entendimento, em bases experimentais e verificáveis, destituídas de velhos preconceitos e pura imaginação, seriam os responsáveis pelo "verdadeiro nascimento" da Geologia no século XVII. O dinamarquês Niels Steno, por seus trabalhos pioneiros, em Paleontologia, Geologia física e Estratigrafia, baseados em observações, pesquisas e verificações, sem recurso a especulações e preconceitos, é considerado o criador da Geologia.

Não havia, ainda, geólogos, mas filósofos, físicos, médicos e viajantes se dedicaram a pesquisas e iniciaram estudos, cujas conclusões eram divulgadas. Tais opiniões, totalmente distintas e conflitantes com as prevalecentes, encontrariam forte oposição e crítica dos defensores da tradição e da autoridade, estabelecendo-se verdadeira polêmica entre os dois campos, a qual se arrastaria até o final do século XIX. Filósofos, como Descartes e Leibniz, físicos, como Hooke e Huygens, médicos, como Steno, Ray, Woodward e Scheuchzer, viajantes, como Fournier, intelectuais e homens da Igreja, como Kircher, contribuíram, entre outros, para o grande debate iniciado sobre o tema no século XVII.

Pela clareza e objetividade dos conceitos, vale reproduzir passagem de Paolo Rossi sobre o tema:

> A linha de demarcação entre Ciência e pseudociência pareceu com freqüência muito difícil de ser determinada. Pressupostos metafísicos agem em profundidade nas discussões que acompanham a constituição da Cosmologia e da Geologia, como Ciências. Hooke, Descartes, Newton e Leibniz não elaboraram apenas teorias: propõem para a investigação objetivos diferentes, orientando-a e limitando-a de várias maneiras. Nas páginas dos pesquisadores de fósseis, e de construtores de histórias da Terra e do Cosmos, se reapresentam constantemente grandes questões: as relações com o texto

> bíblico e com a Teologia, os temas da Criação e do Apocalipse, a postura a ser adotada com relação à tradição antropomórfica e uma concepção naturalista do Mundo. Imagens diferentes da Ciência, diferentes tradições de pesquisa agem em profundidade, não só sobre a elaboração das teorias, mas sobre a própria "observação" da realidade, isto é, sobre a forma de enxergar alguns objetos naturais[253].

Importante ter presente que, independentemente da corrente filosófica ou da Igreja a que se filiassem, todos os estudiosos e pesquisadores, sem exceção, aceitavam os ensinamentos bíblicos sobre a Criação. Tanto assim que a questão da "idade" da Terra não se colocava, na época, a não ser para fixar, com precisão, o momento da Criação. A idade da Terra foi calculada, a partir de fontes históricas antigas e das Escrituras (totalizando as idades dos patriarcas do Velho Testamento), pelo arcebispo de Armagh, James Ussher, na Irlanda do Norte, em 1650. O ano estabelecido foi o de 4004 a.C.[254]. As divergências teóricas se referiam, assim, ao "período entre a Criação e o Dilúvio", para o qual não havia, do ponto de vista geológico, menção específica nos textos sagrados.

Nem todos os campos atuais da Geologia foram estudados no século XVII. As áreas que mereceram mais atenção e pesquisas foram as da Cosmogonia, da Geografia física, da Mineralogia e da Paleontologia. A metodologia adotada para examinar a evolução da Geologia nesse período foi a de examinar as atividades e contribuições dos diversos autores por esses ramos da ciência geológica.

6.9.1.1 Origem e Formação da Terra – Estratigrafia

Várias teorias, teses, hipóteses e especulações foram formuladas, no século XVII, sobre a formação e estrutura da Terra, praticamente pela totalidade dos estudiosos da Geologia. Fruto, em boa parte, de especulação e dogmatismo, essas ideias, com algumas exceções, têm apenas interesse histórico, já que, por falta de uma metodologia científica adequada, não chegaram a explicar corretamente a formação, a estrutura e a composição da Terra.

A primeira teoria, pela importância e repercussão, foi a formulada por Descartes. Seu propósito inicial era publicar sua obra específica, *Tratado do Mundo*, com suas ideias sobre a evolução da Terra desde a

---

253 ROSSI, Paolo. *O Nascimento da Ciência Moderna na Europa.*
254 RONAN, Colin. *História Ilustrada da Ciência.*

Criação. A condenação de Galileu pela Inquisição influenciaria a decisão do filósofo, que destruiu a obra, mas divulgou suas concepções, de forma esparsa e resumida, no *Discurso sobre o Método* e no *Os Meteoros*, ambos de 1637, e no *Princípios da Filosofia*, de 1644.

A abordagem do tema decorreria de sua Filosofia racional e mecanicista, o que causaria grande repercussão e celeuma. A história do Globo terrestre e o posicionamento de suas partes seriam considerados do ponto de vista mecânico, estando a parte central da Terra em fusão, mas em lento esfriamento. Os deslocamentos da superfície terrestre seriam devidos ao esfriamento e à contração da massa interior que a sustenta[255].

Na famosa "lâmina" XV, incluída no *Princípios da Filosofia*, Descartes ilustrou sua ideia da estrutura do planeta: no centro um fogo central (Calor, luz e força subsistentes da época em que a Terra fora uma estrela); em volta desse núcleo ígneo, uma camada metálica, do mesmo material que as manchas do Sol, por sua vez circundada por outra camada, de terra, a qual seria coberta por uma crosta mais leve; entre essas duas camadas (a metálica e a de terra), haveria um oceano interior, sobre o qual flutuaria a crosta. A ocorrência de algumas rupturas em certas partes da camada de terra permitiria a "invasão" de água do oceano interior na crosta terrestre; o mar não transbordaria porque suas águas se comunicariam com as do oceano interior, de modo que o "curso d'água imitaria aquele do sangue no corpo do animal". Segundo Descartes, os minerais metálicos eram de origem sideral, como normalmente aceita na época, sendo os filões preenchidos por emanações vindo das profundezas, opinião que viria a ser adotada por Steno e confirmada por James Hutton (1726-1797). Tais especulações sobre a estrutura da Terra, sem qualquer base em pesquisa e observação, teriam, contudo, ampla divulgação e muita influência em seu tempo, graças ao prestígio de seu autor.

O médico jesuíta alemão Athanasius Kircher (1601-1680) foi dos mais conceituados estudiosos da Geologia, buscando estabelecer uma alternativa para o mecanicismo da hipótese cartesiana. Em 1635, em Roma, observou, com a ajuda do telescópio e com a colaboração do padre Scheiner, o Sol, preparando seu "mapa" com "pontos de luz", chamas visíveis, relevo e explosões vulcânicas. Em 1639, assistiria a uma erupção vulcânica do Vesúvio, seguida de terremoto, o que muito o impressionou. Iniciou suas pesquisas sobre a Terra nas grutas da Renânia, convencido de algumas semelhanças entre o Sol e o Globo terrestre, como ambos estando em evolução. Em sua principal obra, *Mundus Subterraneus*, de 1664, explicaria seu "sistema teórico de fogos subterrâneos", em que os vulcões seriam buracos respiratórios. Adotou a

[255] TATON, René. *La Science Moderne.*

ideia de canais subterrâneos, com a formação de vastos circuitos de água, que impediria o mar de transbordar, estabelecendo uma analogia entre as águas subterrâneas e a circulação sanguínea. Kircher era de opinião de que as marés seriam responsáveis pelas águas marinhas nas montanhas, retornando aos oceanos pelos rios. Escreveu: "nem embaixo, nem em cima a Terra permaneceu no estado em que se encontrava no começo", listando, inclusive, seus agentes modificadores, como a erosão, invasões do mar, depósitos de rios, deformações causadas pelos sismos[256]. Considerava o fogo interno como o principal responsável pela vida na Terra. Distinguia dois tipos de montanhas, as criadas por Deus, e as pós-diluvianas, surgidas por causas naturais. Nas rochas, descobriu figuras geométricas e de corpos celestes, letras de alfabeto, símbolos que evidenciariam a origem divina da Terra.

Robert Hooke interessou-se pela Geologia, tendo tratado do tema em sua *Micrographia*, de 1665, e em seu *Discourse on Earthquakes*, de 1668, mas publicado em 1705. A partir da Criação, uma grande parte da superfície terrestre foi transformada e alterou sua Natureza de maneira que muitas partes que agora são mares, no passado foram terras firmes, montanhas foram transformadas em planícies e planícies em montanhas. No início, a Terra consistiria de substâncias fluidas que, aos poucos, se cristalizaram e se solidificaram, formando camadas superpostas[257]. A Terra e as formas de vida sobre a Terra teriam uma história influenciada por "poderes naturais e causas físicas" (terremotos, inundações, erupções, etc.). No âmbito da Geologia, sua maior contribuição foi na "Paleontologia".

O médico dinamarquês Niels Steensen, mais conhecido como Stenon ou Steno (1638-1686), de família luterana, nasceu em Copenhague, onde estudou Medicina, e depois em Leiden e Amsterdã. Viajou pela França, Áustria e Hungria, fixando-se depois em Florença, onde participou dos trabalhos da Accademia del Cimento e exerceu o cargo de médico do duque da Toscana. Em 1667, converteu-se ao Catolicismo. Com base em seus minuciosos estudos e pesquisas da região toscana (Montes Apeninos, terras baixas da costa, Carrara), tirou uma série de conclusões surpreendentes para a época e que formaram a base da Estratigrafia Moderna[258]. Sua obra, publicada em Florença, em 1669, após sua aprovação pela censura eclesiástica, intitula-se *Prodomus de solido intra solidum naturaliter contento*, de "fortes influxos galileanos e cartesianos", como comentou

---

[256] TATON, René. *La Science Moderne.*
[257] ROSSI, Paolo. *O Nascimento da Ciência Moderna na Europa.*
[258] TATON, René. *La Science Moderne.*

o já citado Paolo Rossi. Retornou à Dinamarca, mas em pouco tempo voltou à Itália, tornando-se padre em 1675, e bispo em 1677, atuando em trabalho missionário no norte da Alemanha, até sua morte. Foi santificado por João Paulo II em 1988.

No *Prodomus*, estabeleceu Steno os princípios básicos da Estratigrafia:

i) cada camada foi depositada de um fluido sobre uma superfície sólida subjacente, na qual fósseis podem ter sido incorporados em sedimentos "macios";
ii) cada camada é lateralmente contínua e aproximadamente horizontal; é o conhecido "princípio da horizontalidade inicial";
iii) a superposição de camadas ocorreu de acordo com a idade (Lei de Steno da superposição); e
iv) qualquer desvio dessas camadas é devido a alterações posteriores (terremoto, vulcões, etc.).

Na obra, apresentou o autor uma série de diagramas que mostram sua perfeita compreensão dos princípios da Estratigrafia. Reconheceu Steno que os cursos d'água são fatores de modificação do relevo. Dessa forma, sua hipótese de estrutura em camadas superpostas da crosta terrestre e da sua formação por sedimentação de matéria inorgânica e de restos fósseis explicava a presença de fósseis, incluídos na sequência de camadas, e representava uma tentativa coerente de reconstrução da sequência dos eventos geológicos. A posição original das camadas, horizontal, foi modificada no decorrer dos séculos por erupções e terremotos, pelo que a paisagem terrestre atual deriva de rachaduras, colapsos e elevações de tais camadas[259].

Baseando-se, ainda, em seus estudos da região toscana, sugeriu seis grandes etapas de formação geológica, nas quais ocorreram "transgressões e regressões marinhas":

i) região inteiramente submersa, sem fóssil na camada;
ii) terras elevadas, como planícies secas;
iii) terra alterada em montanhas, ravinas e colinas;
iv) submersão, com vales cheios de areias com fósseis;
v) a terra reaparece como extensas planícies; e
vi) erosão da terra por rios forma vales e colinas. Steno

[259] ROSSI, Paolo. *O Nascimento da Ciência Moderna na Europa.*

> distinguiria "rochas primitivas", anteriores a plantas e animais e "rochas sedimentares", superpostas às precedentes, contendo fósseis. A Paleontologia seria, igualmente, outro campo de estudos pioneiros de Steno.

Pela amplitude da obra e pelo enfoque científico no tratamento de tais questões, foi Steno o primeiro verdadeiro "geólogo", reconhecido como fundador da Geologia. Sua obra, contudo, não teve boa acolhida na época, vindo a ser aceita somente a partir do século seguinte.

Leibniz, em viagem à Itália, teve oportunidade de se encontrar com Niels Steno, cujas concepções geológicas lhe interessaram. Conhecia, também, os pensamentos de Descartes e de Kircher, cujas obras sobre a formação e estrutura da Terra lera. Encarregado pelo Duque de Brunswick, estudou e pesquisou a história geológica do Ducado, o que lhe permitiria aumentar seus conhecimentos sobre o assunto e formular teorias sobre a cosmogonia e estratigrafia do planeta. Escreveria a *Protogaea*, publicada postumamente, em 1749, mesmo ano da aparição da *Teoria da Terra* de Buffon (1707-1788). Um pequeno resumo da obra fora publicado em 1693.

Como Descartes, admitia Leibniz a origem ígnea do Globo e a existência de um fogo central, evidenciado pela abundância de "matérias vítreas", de manifestações vulcânicas, de águas termais em alta temperatura e de terremotos. Acreditava que, desde a Criação, a Terra sofrera transformações incessantes sob ação do fogo e da água; o dilúvio teria sido provocado tanto pela chuva quanto pelas águas subterrâneas, liberadas pelas rupturas na crosta terrestre. As rochas seriam ígneas e sedimentares e o relevo devido às águas e ao vento. As montanhas seriam resultado de erupções pré-diluvianas[260].

À Leibniz não escaparam, como a Hooke, as noções de espécie e de sua evolução, como assinaladas em sua obra *Novos Ensaios*, de 1703, mas publicada em 1765.

Thomas Burnett (1635-1715) escreveu *Telluris Theoria Sacra*, publicada em 1680, e, em edição ampliada, em 1684. Admitia, como Descartes e outros, que a Terra sofrera transformações desde sua Criação. No início, existiria uma massa fluida onde se encontrariam os materiais e os ingredientes de todos os corpos, misturados de modo confuso. O caos se transformaria, pela palavra divina, em um Mundo: as partes mais pesadas se precipitaram em direção ao centro, conforme uma ordem decrescente de gravidade. O resto se subdividiria, pelo mesmo princípio da gravidade, em corpo líquido e em corpo volátil. A crosta terrestre, inicialmente lisa, seria

260 TATON, René. *La Science Moderne.*

formada de processos de sedimentação; abaixo da crosta, haveria um grande reservatório de água. A superfície lisa, onde não há vento nem variação de clima, e que corresponde ao "paraíso terrestre", sofreria uma catástrofe universal, transformando-a no Mundo atual, que é irregular, enrugado e contorcido, feito de grandes superfícies líquidas e de continentes de costas recortadas. Sob a ação do Sol, a crosta se teria quebrado e um terremoto gigantesco teria rachado a superfície do planeta. A saída das águas internas teria provocado o dilúvio, que, em consequência, inclinaria o eixo da Terra, surgindo as estações e as variações de clima[261]. O extraordinário esforço intelectual de Burnett para conciliar a História Sagrada com a hipótese geológica e cosmogônica de Descartes, sugerindo, inclusive, ter o "Criador" sincronizado os eventos bíblicos com as causas naturais e mecânicas, iria provocar uma grande polêmica.

Seus maiores críticos contemporâneos, na Inglaterra, foram:

i) William Temple (1628-1699), autor de *Geology or a Discourse concerning the Earth before the Deluge* (1690), que refutaria Burnett com passagens bíblicas;
ii) John Ray (1627-1705), na obra *The Wisdom of God* (1691), defendeu que a sabedoria de Deus se manifestava nas obras da Natureza; assim, o recolhimento das águas em grandes reservatórios abaixo da crosta e a emersão da terra firme seriam manifestações da sabedoria divina "porque nessas condições a água alimenta e conserva inumeráveis quantidades de várias espécies de peixes e a terra firme uma grande variedade de plantas e animais";
iii) John Woodward (1665-1728), que escreveu *Essay towards a Natural History of the Earth* (1695), qualificou a tese de Burnett como "imaginária e romanceada";
iv) William Whiston (1667-1752), autor de *A New Theory of the Earth* (1696) e também crítico de Burnett, atribuía a formação da Terra ao esfriamento de um cometa nebuloso, constituído de uma massa igual àquela do Globo terrestre, mas com um volume muito maior. O dilúvio teria sido causado, em 18 de novembro de 2.349 a. C.[262], pela emersão das águas internas, provocada pela passagem da Terra por meio da cauda de um cometa de tamanho seis vezes maior que o da Terra, e 24 vezes mais próximo da Terra que a Lua;

[261] ROSSI, Paolo. *O Nascimento da Ciência Moderna na Europa.*
[262] TRATTNER, Ernest. *Arquitetos de Ideias.*

uma futura passagem de um cometa nas mesmas condições provocará o desaparecimento das águas e a reconsolidação do planeta, que voltaria à situação anterior ao dilúvio;

v) o filólogo Richard Bentley (1662-1742), conhecido por suas críticas às filosofias ateístas; e

vi) John Keill (1671-1721), autor de *Examination of Dr. Burnett Theory of the Earth* (1698);

todos esses autores ingleses, de renome na época, se insurgiram contra as opiniões de Burnett e as chamadas hipóteses ateístas (cartesianas) dos fazedores de Mundos e de construtores de dilúvios imaginários, afirmando a equivalência de mecânico e acidental.

A água ocupa uma posição de relevo nas diversas hipóteses geológicas da época. Dois autores se dedicaram especificamente ao tema, hoje estudado na Hidrogeologia. O jesuíta francês Georges Fournier escreveu um tratado intitulado *Hidrografia* (1663), no qual estabeleceu uma teoria de correntes marinhas, afirmando que o nível dos oceanos é o mesmo, e que a água levada pelos rios aos mares não tinha qualquer proporção com o volume dos oceanos. Pierre Perrault (1608-1680) publicou, em 1674, o livro *A Origem das Fontes*, no qual assinalou o engano de se dar maior importância às águas dos rios que às das chuvas. Durante três anos, mediu a quantidade de água da chuva em Paris, mediu a superfície da bacia de recepção do vale do Sena e concluiu que a quantidade de água da chuva que caía era suficiente para assegurar a vida das árvores e das planícies. Afirmaria que a água chega às montanhas em forma de vapor, por canais, e que, readquirindo a forma líquida, encontraria uma saída pelos canais[263].

6.9.2 Paleontologia

Desde a Antiguidade, os fósseis despertaram grande interesse e curiosidade, tendo sido formuladas várias teorias para explicá-los. O assunto voltou a ser reexaminado no Renascimento Científico, particularmente por Leonardo, Bernardo Palissy e Georg Bauer Agrícola, que cunhou o termo “fóssil” (do latim *fodere*, escavar) e foi objeto de muitos estudos no século XVII.

Desde 1616, o italiano Fabio Colonna (1567-1650) sustentava, em livro com o título de *De Glossopetris*, que tais fósseis de dentes eram de dentes de esqualos.

[263] TATON, René. *La Science Moderne.*

O dinamarquês Niels Steno efetuou, em 1667, a dissecação da cabeça de um tubarão pescado perto de Livorno; o exame da dentadura mostrou a semelhança da dentadura com "objetos petrificados", chamados "glossopedras" ou "fósseis de dentes", encontrados em algumas rochas e já estudados por Colonna. Steno chegou, então, à conclusão que os "glossopedras" examinados eram, na realidade, dentes de tubarão, fossilizados depois de terem estado mergulhados em lama líquida[264]. Para explicar a diferença entre os dentes fósseis e os dentes dos tubarões vivos, Steno utilizou-se da teoria corpuscular da matéria para argumentar que a composição química dos fósseis pode ter sido alterada sem mudança em sua forma. Essa pesquisa levaria Steno a procurar explicar o problema de se encontrar um objeto sólido dentro de outro objeto sólido; nesse caso, o interesse não se restringia apenas a fósseis, mas igualmente a cristais, minerais, incrustações, veios, e até sedimentos de rochas; daí o título de sua obra *Pródomo de uma dissertação referente a sólidos naturalmente contidos dentro de sólidos*. Pressupondo que todas as rochas e minerais tenham sido, em algum momento, fluidos, Steno concluiu que os sedimentos de rochas e depósitos similares foram formados quando partículas num fluido, como água, caíram no fundo; tal processo formou as camadas horizontais iniciais. Como escreveu Steno, "se um corpo sólido ficar encerrado por todos os lados dentro de outro corpo sólido, aquele que, pelo mútuo contato, se solidificar primeiro terá imprimido em sua própria superfície as propriedades da outra superfície". Convicto da origem orgânica dos fósseis, utilizaria, igualmente, suas pesquisas em Estratigrafia para explicar a passagem do tempo.

O pintor italiano Agostino Scilla (1639-1700) publicou, em 1670, *La vana speculazione disingannata del senso. Lettera responsiva circa i corpi marini che petrificati si truovano in vari luoghi terrestri*, na qual criticava a "vã especulação" de considerar os fósseis como "crescidos" no interior das rochas, e adiantava a tese de sua origem orgânica[265], insistindo que os fósseis eram "animais verdadeiros, e não caprichos naturais gerados simplesmente por alguma substância pedrosa". Refutava que os metais crescessem nas minas. Como Colonna e Steno, considerava os "glossopedras" como dentes fósseis de esqualo. Scilla defendia, na linha de Descartes e Galileu, a importância da observação e verificação, opondo-se às especulações.

Robert Hooke contribuiu, positivamente, para uma melhor compreensão dos fósseis "que até agora atormentou todos os cultores da

[264] BUFFETAUT, Eric. *Histoire de la Paléontologie.*
[265] ROSSI, Paolo. *O Nascimento da Ciência Moderna na Europa.*

História Natural e da Filosofia". Foi pioneiro na "Anatomia comparada" de vegetais vivos e mortos, pois estudou e comparou a estrutura anatômica de madeiras atuais, linhita e madeiras petrificadas, e da chamada Paleontologia histórica. Sua obra específica sobre o assunto foi o *Discourse on Earthquakes* (1668, mas publicado em 1705), além de tratar também do tema no *Micrographia* (1665). Rejeitou tanto as teses tradicionais aristotélicas e neoplatônicas quanto a da origem diluviana dos fósseis. Para explicar a existência dos fósseis que não pertenciam a nenhuma espécie conhecida, Hooke abandonou a ideia de espécies imutáveis[266] e formulou a hipótese da destruição e do desaparecimento de espécies vivas:

> "No momento, consideramos como real e verdadeira esta suposição, de que houve em épocas passadas do Mundo diversas espécies de criaturas que estão agora inteiramente perdidas, nenhuma delas sobreviveu em qualquer lugar da Terra".

Tal desaparecimento se deveu a numerosas mudanças na superfície do Globo, já que seria absurdo imaginar "que desde o começo as coisas tenham continuado no mesmo estado onde nós as encontramos hoje..." e continua

> "Verificamos que alterações de clima, do ambiente e do alimento produzem com freqüência grandes alterações e não há dúvida de que alterações desta natureza podem produzir enormes mudanças na forma e nas características dos animais".

Tais mudanças teriam ocorrido tanto nos seres vivos quanto nos inanimados: "Houve muitas espécies no passado, as quais não podem ser encontradas hoje em dia, e não é improvável também que possa haver hoje diversas novas, que não estiveram presentes no começo".

As mudanças havidas ao longo do tempo explicariam os diferentes tipos de fósseis, o que tornaria, teoricamente, possível descobrir a história humana por meio dos fósseis:

> Atualmente, as conchas e outros corpos são as medalhas, as urnas e os monumentos da Natureza... São os maiores e mais duráveis monumentos da Antiguidade que, provavelmente, serão, de longe, anteriores a todos os antigos monumentos do Mundo, mesmo as pirâmides, os obeliscos, as múmias, os hieróglifos e as medalhas, e que fornecerão mais informações à História Natural que todos esses outros tomados em conjunto à 'História civil'.

[266] BUFFETAUT, Eric. *Histoire de la Paléontologie.*

As alterações ocorridas estariam inseridas dentro da breve cronologia sagrada, de cerca de seis mil anos, pois em nenhum momento duvidou Hooke da "concórdia" entre a Natureza e a Escritura[267].

O jesuíta Athanasius Kircher negava origem orgânica aos fósseis, julgando-os de natureza mineral, e cuja forma era devida a um *spiritus plasticus*.

O mencionado John Woodward, em seu *Ensaio sobre a História Natural da Terra* (1695), era partidário, como tantos outros, da "teoria diluviana", ou seja, os fósseis seriam testemunhos do grande cataclismo. Para ele, todos os materiais sólidos, inclusive os restos dos seres vivos antediluvianos, se mantiveram em suspensão na água, após o que foram depositados de acordo com seus pesos específicos; daí se observar a estratificação e a distribuição dos fósseis nas rochas[268]. Sua coleção de fosseis faz parte do acervo do Museu de Cambridge.

O médico suíço Johann Jakob Scheuchzer (1672-1733), que não aceitara a teoria da origem orgânica dos fósseis, mudou de ideia ao ler Woodward, convencendo-se de serem as conchas uma evidência do dilúvio. Em 1708, escreveu *Piscium querelae et vindiciae*. Profundamente religioso, procurou comprovar o texto bíblico, exultando, em 1727, ao anunciar ter encontrado restos da raça humana destruída pelo dilúvio, o *Homo diluvii testis* (*O Homem testemunha do Dilúvio*); o espécime em questão, estudado por Cuvier, no início do século XIX, era, na realidade, uma salamandra gigante.

Edward Lhwyd, autor da *Lithophylacii britannica iconographia* (1699), com a descrição de 1.600 animais e vegetais fósseis recolhidos na Inglaterra, foi, igualmente, diretor do famoso Museu Ashmolean, da Universidade de Oxford. Sustentava Lhwyd que uma sequência de brumas e vapores sobre o mar foi impregnada com "sementes" de pequenos animais marinhos. Tais sementes se desenvolveram e foram transportadas a longas distâncias, antes de descerem em terra, sob chuva e neblina. Esses pequenos "animais invisíveis" penetraram na terra, onde germinaram, reproduzindo, na pedra, verdadeiras réplicas dos animais marinhos; os fósseis de plantas teriam sido criados dessa mesma forma.

O médico inglês Martin Lyster (1638-1711) considerava que as conchas encontradas nas rochas da Inglaterra não continham fósseis orgânicos de animais, mas eram *lapides sui generis*, de formação puramente mineral.

O filósofo Leibniz, como a maioria dos estudiosos da época, aceitava a origem orgânica dos fósseis, restos petrificados de seres anteriormente

[267] ROSSI, Paolo. *O Nascimento da Ciência Moderna na Europa.*
[268] BUFFETAUT, Eric. *Histoire de la Paléontologie.*

vivos. O acúmulo de ossaturas fósseis de "monstros marinhos e de outros animais de um Mundo desconhecido", em determinadas cavernas, de onde não seriam originários, seria devido ao dilúvio que os transportou do oceano pela violência das águas.

6.9.3 Petrografia

As pesquisas sobre os minerais se intensificaram, no século XVII, devido a seu valor em várias atividades industriais e medicinais. O médico belga Anselmo Boèce de Boodt (1550-1632) trabalhou como médico e especialista de pedras preciosas na corte da Boêmia. Durante sua permanência em Praga, escreveu a *Historia gemmarum et lapidum*, aparecida em 1609 e reeditada várias vezes no século XVII. Nesse livro, além de pedras preciosas e finas, tratou, igualmente, de outros minerais e de algumas rochas, com pormenores sobre suas propriedades, seus usos e sua localização. Insistiu sobre o valor da experiência, o que lhe permitiu demonstrar várias propriedades físicas dos minerais. Distinguiu cinco graus de dureza das pedras: terra endurecida, pedra mole, pedra dura que a lima pode entalhar, pedra que pode ser trabalhada com esmeril e aquelas que só podem ser entalhadas pelo diamante. Estudou profundamente o rubi, a safira, a opala, a esmeralda, o diamante, o topázio, a granada, o quartzo, os corais e as pérolas[269]. Descreveu Boodt vários fósseis e rochas, criou a palavra "nefrite" e citou vários empregos terapêuticos de pedras preciosas.

Os cristais mereceram a atenção especial de Hooke, Leeuwenhoek e Boyle. Estudo aprofundado foi efetuado por Niels Steno sobre diferentes tipos de cristais, especialmente os cristais prismáticos de quartzo, enquanto seu compatriota, Erasmus Bartholin, estudou os cristais de feldespato-da-islândia, que o levaria a descobrir a dupla refração da luz[270]. Huygens escreveria sobre a estrutura da cal.

6.9.4 Botânica

Apesar de vários naturalistas terem dedicado suas atividades ao estudo da Botânica, no século XVI (Cesalpino, Aldrovandi, Turner, Gerard, Gesner, Bauhin, Brunfels, Bock, Fuchs, Cordus e outros), somente no século

[269] TATON, René. *La Scence Moderne.*
[270] TATON, René. *La Scence Moderne.*

seguinte se emanciparia a Botânica de mera provedora da farmacopeia e de um tratamento descritivo da flora, para estabelecer seus próprios objetivos de conhecimento e análise dos vegetais. A flora continuaria, no entanto, a ser a grande fornecedora da matéria-prima da farmácia, como atestam as obras dos médicos e farmacêuticos franceses Pierre Pomet (1658-1699 – *Histoire Générale des Drogues*) e Nicolas Lémery (1645-1715 – *Farmacopeia Universal* (1697) e *Dicionário das Drogas Simples*, de 1698); o médico e farmacêutico alemão Georg Wolfgang Wedel (1645-1721) e o inglês Samuel Dale (1650-1739), adicionalmente, avançariam os estudos sobre as propriedades terapêuticas das plantas, até então desconhecidas, das regiões de além-mar. Prosseguiriam, igualmente, os esforços deliberados de descrever e classificar as plantas, mas não mais por suas qualidades ou por sua origem, mas pelas suas características. No decorrer do século XVII, um novo espírito e um novo enfoque de buscar conhecer e entender a flora prevaleceriam nos estudos e pesquisas, permitindo um grande avanço na evolução da Botânica.

O grande botânico, na primeira metade do século XVII, seria o alemão Joachim Jung (1587-1657), de Hamburgo, que se dedicaria à formulação das bases teóricas de uma disciplina incipiente, em formação. A partir de 1660, seus manuscritos circulariam pela Europa e influenciariam Robert Morison, John Ray e Joseph Tournefort. Manifestou-se Jung contra o antropomorfismo, a geração espontânea e a tradicional divisão da flora em "árvores e ervas". Esforçou-se pela introdução nos estudos botânicos de mais rigor e precisão na análise, tendo cunhado os termos perianto, nervura, pecíolo e outros. Estabeleceu a noção de simetria para definir o caule e a folha, e deixou duas obras, publicadas postumamente: *De plantis daxoscopiae phisicae minores*, em 1662, e *Isagoge Phytoscopiae*, em 1678[271].

Deve-se registrar, ainda, o grande interesse e curiosidade despertados pela Botânica em geral, nesse período, como atesta a proliferação de jardins botânicos em grande número de cidades, como Pádua, Bolonha, Messina, Iena, Leipzig, Leiden, Amsterdã, Copenhague, Edimburgo, Oxford, Paris, Blois, Estrasburgo.

Devido à crescente utilização do microscópio e à Análise experimental, se desenvolveriam, notadamente, os campos da Anatomia, da Fisiologia (inclusive nutrição e geração) e Taxonomia vegetais.

6.9.4.1 Anatomia Vegetal

Os decênios de 1660 e 1670 são considerados como fundamentais no desenvolvimento dos estudos da Anatomia vegetal, principalmente

[271] TATON, René, *La Science Moderne.*

devido aos trabalhos de Malpighi e Grew. Concomitantemente a avanços em outras áreas da Botânica, vários pesquisadores devem ser nomeados por suas contribuições para um melhor entendimento da estrutura vegetal. Robert Hooke dedicaria passagens de seu célebre *Micrographia*, de 1665, às suas observações, notadamente sobre o tecido celular; com base em pesquisas com a ajuda do microscópio, seria pioneiro em estudos sobre a cortiça, bem como outros vegetais, como musgos, algas marinhas, pedaços de madeira petrificada, esporos de cogumelo, sementes.

O microscopista holandês Antony van Leeuwenhoek (1632-1723), além de notáveis descobertas nas áreas da Biologia animal e humana, fez as primeiras referências à presença de cristais nos vegetais e de amidos nos farináceos. Correspondente da Sociedade Real de Londres, de 1663 até 1723, seus trabalhos e relatórios foram publicados na *Philosophical Transactions*, daquela Instituição científica, a partir de 1680, o que lhe traria muito prestígio e reputação no meio intelectual da Europa. Imbuído de verdadeiro espírito científico, divulgaria amplamente suas descobertas, obtidas por observações através dos melhores microscópios, que fabricava, com uma aproximação de até 300 vezes.

O médico italiano Marcello Malpighi (1628-1694), professor, pesquisador extraordinário e pioneiro em vários campos da Zoologia e da Biologia humana, notabilizou-se, igualmente, por seus estudos de Botânica. Foi, sem dúvida, um dos maiores naturalistas do século XVII, cujas contribuições foram importantes para o desenvolvimento da Botânica, da Zoologia e da Biologia[272]. Considerado por muitos como o primeiro histologista, descreveu a histologia da cortiça e da madeira, estudou o estômato, as plantas de látex e os bugalhos; examinou o desenvolvimento da estrutura da semente e sua germinação. Fez uso constante do microscópio e preparou cuidadosos desenhos sobre os vegetais, sua Anatomia e seus órgãos. Manteve profícua correspondência com a Sociedade Real de Londres a partir de 1668, sendo suas cartas publicadas na *Philosophical Transactions*. Sua obra *Anatome plantarum* consta de duas partes: a primeira, publicada em 1675, e a segunda, em 1679, estabelecendo, pela primeira vez, a divisão das plantas de flor em dois grupos: monocotiledôneas e dicotiledôneas. Muito criticado nos círculos intelectuais de Bolonha, onde ensinava na Universidade, sofreu Malpighi perseguições, a ponto de ter sua casa incendiada e seus microscópios e livros destruídos. Desagravo ocorreria em 1691, quando foi nomeado médico do Papa Inocêncio XII e eleito membro do Colégio de Doutores de Medicina em Roma[273].

[272] TATON, René. *La Science Moderne.*
[273] ROSSI, Paolo. *O Nascimento da Ciência Moderna na Europa.*

O inglês Nehemiah Grew (1641-1712) dedicou-se, desde 1654, por influência do célebre médico Francis Glisson (1597-1677), à Botânica, inclusive à Anatomia geral e comparada. Escreveu, em 1672, o ensaio *The Anatomy of the Vegetables begun*, com pormenores da estrutura da semente das favas. Em 1682, publicou o *The Anatomy of the Plants*, sua obra principal, na qual descreveu órgãos das plantas (raiz, caule, flor, fruto e folha), e semente e gomos, notou a existência de células, estudou, em particular, os órgãos sexuais, descobrindo ser o estame o órgão sexual masculino, e preparou excelentes entalhes em madeira de tecido vegetal. Foi correspondente, como Malpighi, da Sociedade Real de Londres.

6.9.4.2 Fisiologia Vegetal

Pioneiro nesse campo foi o médico e "químico" holandês Jan Baptiste van Helmont, que, em seu *Ortus Medicinae*, de 1648, já adotava o método quantitativo (utilizado na Química) e acreditava que as plantas dependiam inteiramente da água para seu alimento. Seu interesse era, contudo, em função de sua condição de médico, para o qual o uso terapêutico das plantas era prioritário. O médico e abade Edme Mariotte (1620-1684) escreveu o ensaio *De la végétation des plantes* (1679), reputado como das mais importantes obras da Fisiologia vegetal do século XVII. Proporia Mariotte uma concepção da geração espontânea; observou a pressão da seiva e a existência de duas seivas, mas seria Claude Perault (1613-1688) que se celebrizaria (1668) ao formular a teoria da circulação, comparável à do sangue nos animais.

Malpighi defendeu a preformação das plantas nas sementes e estudou, também, o movimento das seivas, descobrindo que haveria um movimento para cima, a partir da raiz e das folhas, para demais órgãos, sem se dar conta, contudo, do papel exercido pelos pequenos "vasos", assunto que o notabilizara ao descobrir as artérias sanguíneas no corpo humano. O italiano Giuseppe Aromatori (1587-1660), em seu *De Generatione plantarum*, de 1625, mostraria que o embrião seria um vegetal em miniatura, e comparou as matérias de reserva (óleo e aleurona) das sementes à albumina dos animais. O físico e matemático Gian Alfonso Borelli (1608-1679) observaria a irritabilidade dos estames, e John Ray, em sua *Historia plantarum*, deu importância aos movimentos das folhas, flores e estames, tendo estudado sistematicamente as reações de excitação das folhas das leguminosas, e procurou interpretar esse fenômeno pela existência problemática de uma tensão mecânica dos tecidos, variável

com a temperatura[274]. Jacques-Philippe Cornut (1606-1651) estudou o desabrochar das flores em função da temperatura e os movimentos periódicos das folhas da "acácia bastarda", fenômeno esse que Linneu chamaria de "sono das plantas". Robert Sharrock (1630-1684) publicaria, em 1660, suas experiências sobre os efeitos da luz na curvatura dos caules. Denis Dodart (1634-1707), que, em 1676, escrevera, com a colaboração de Claude Perault, Mariotte, de la Hire, Bourdelin, Marchant e outros, as *Memórias para servir à história das plantas*, com uma Análise fitoquímica e sua importância para o desenvolvimento da classificação vegetal, examinaria, em ensaio de 1700, a ação da gravidade sobre o desenvolvimento das raízes e dos caules.

Sobre a sexualidade das plantas, deve-se adiantar que essa noção já era conhecida desde a Antiguidade. Experiências específicas sobre o assunto foram realizadas por Grew (1682), Ray (1687), Bobart (1688), Buononni (1691) e outros, mas a primeira demonstração da sexualidade vegetal se deve ao alemão Rudolf Camerarius (1665-1721), relatada, em 1694, numa célebre carta (*Epistola sexu plantarum*), na qual explicava ser o pólen o fecundador, podendo os órgãos sexuais estarem juntos numa planta (milho, mamona) ou separados (amoreira), sendo essencial a cooperação dos sexos para a produção das sementes férteis[275]. Estavam, assim, lançadas, a partir da hipótese da similitude funcional, as bases da teoria geral da sexualidade como função comum aos animais e aos vegetais.

6.9.4.3 Classificação das Plantas

Os avanços na classificação Botânica derivaram, diretamente, das bases estabelecias por Jung e publicadas em 1662 e 1678. O recurso à flor, ao fruto e à semente, e não às folhas, para estabelecer as afinidades dos gêneros e dos grupos superiores, e para o abandono da divisão tradicional das plantas em "árvores" e "ervas", seriam adotados pelos naturalistas na segunda metade do século XVII. Os nomes de Robert Morison (1620-1683), John Ray (1637-1705), Fabio Colonna (1567-1659), Rivinus (A. Bachmann, 1652-1723), Joseph Tournefort (1656-1708) e Pierre Magnol (1638-1715) devem ser lembrados na área da classificação das plantas.

Colonna escreveria em seu *Ekphrasis* que "distinguimos as afinidades das plantas a partir das flores e o receptáculo das sementes,

[274] TATON, René. *La Science Moderne.*
[275] TATON, René. *La Science Moderne.*

e mais ainda da própria semente" e estabeleceria, também, a diferença entre as verdadeiras folhas e as "folhas florais" que ele propôs designar de "pétala" (do grego *pétalon*). O escocês Morison aplicaria o método de Cesalpino e classificaria as plantas pela forma e estrutura do fruto, conforme explicaria em sua monografia de 1672, mas cujos princípios do sistema seriam publicados em um opúsculo póstumo, de 1720.

O inglês Ray, discípulo de Cesalpino e Jung, publicaria, em 1660, um catálogo das plantas recolhidas na Inglaterra, após uma extensa viagem pelo país. Com o zoólogo Willughby, viajaria (1663-1666) por vários países do continente europeu, com o objetivo de obter espécimes de plantas desconhecidas na Inglaterra. Em 1672, tomou conhecimento do trabalho de Malpighi, que se encontrava em Londres, inclusive sobre a importância da taxinomia; em 1682, Ray lançaria os nomes, hoje clássicos, de mono e dicotiledônea, e, em 1703, os introduziria em sua classificação (*Methodus plantarum emendata*). De 1686 a 1704, Ray se dedicaria à sua enciclopédia, em três volumes, conhecida como *Historia Plantarum Generalis*, na qual descreveria 18.699 plantas de sua fabulosa coleção. Como Morison, se utilizaria, para estabelecer a classificação, de critérios baseados em flor, fruto e sementes. A seus críticos, Ray diria que "uma classificação aceitável deve reagrupar as plantas similares e de acordo com seus órgãos principais ou seu aspecto global exterior separar aquelas que diferem em todos estes aspectos" e "o primeiro princípio de um método natural deve ser de jamais dividir grupos de plantas entre aquelas que têm similitudes naturais, nem reagrupar as de características naturais diferentes". Ray escreveu ainda *De Variis*, em 1696, no qual trata da questão da classificação das plantas e no qual reconheceria que não dispunha de método objetivo para determinar quais características eram essenciais e quais eram acidentais, rejeitando, assim, qualquer avaliação *a priori* das características[276]. Como os demais naturalistas da época, acreditava Ray na imutabilidade da espécie, mas admitia que as sementes poderiam degenerar, resultando plantas diferentes, o que chamaria de "transmutação da espécie".

Pierre Magnol, em 1689, no *Prodomus historiae generalis plantarum*, com 186 tipos de plantas distribuídas em 76 quadros, agrupou as plantas, por suas semelhanças, em famílias naturais, com base, exclusivamente, no cálice das flores, mas seu trabalho não teve boa acolhida. Em sua homenagem, Linneu deu a uma flor seu nome: magnólia.

Joseph Tournefort, como Ray na Inglaterra, percorreu várias regiões da França, da Inglaterra e do continente europeu (Alpes, Espanha,

[276] MAYR, Ernst. *Histoire de la Biologie.*

Portugal, Holanda), reunindo um grande número de exemplares para seu herbário, que viria a ser parte do acervo do Museu de Paris. Em 1694, apareceu sua primeira obra, *Éléments de Botanique*, ilustrada com 485 lâminas, traduzida para o latim, em 1700, como *Institutiones rei herbariae*. Estudou Tournefort a forma e o posicionamento das corolas e das flores, e nessa base, as classificou em 22 famílias. Seu sistema teve um grande sucesso, pois era simples, claro, objetivo e prático: os gêneros, existindo independentemente dos classificadores, tinham um "caráter comum a cada uma de suas espécies, que nos deve servir de guia para colocá-los em seu lugar natural"[277]. Tournefort não foi o criador da noção de gênero, mas teve o mérito de mostrar a importância de generalizar seu emprego e de precisar suas características. Distinguiria, ainda, espécies e variedades, e identificaria 1356 novas plantas no trabalho *Corollarium institutionum rei herbariae*, de 1703, escrito após sua viagem ao Levante.

6.9.4.4 Flora Europeia e de Além-Mar

Comparado com séculos precedentes, expandiu-se consideravelmente o conhecimento da flora dos países europeus no século XVII. Vários naturalistas devem ser citados nessa atividade de pesquisa floral: na França, Jacques Cornut, Sebastian Vaillant (1669-1722) e Tournefort (flora da região de Paris); Jacques Barrelier (1606-1673, Provence, Languedoc, Espanha); Pierre-Joseph Garidel (Provence); Magnol (Montpellier); na Alemanha, Ludwig Jangermann (1572-1653) e Moritz Hoffmann (1622-1698, flora da região de Altdorf e Giessen); Johann Lösel (1607-1655), Johann Gottsched (1668-1704, flora da Prússia) e Johann Volkhamer (1644-1720, Nuremberg); na Holanda, Jan Gmmelin (1629-1692); na Inglaterra, além de Ray, William How (1620-1656) e Robert Sibbald (1641-1722), autor de *Scotia Illustrata*; em Portugal, Gabriel Grisley (século XVII); na Itália, Pietro Castelli (1570-1657), Bonsiglioli (século XVII), Paolo Boccone (1633-1704, Itália, Malta, Portugal, França e Alemanha); na Escandinávia, Olaf Rubeck (1660-1740, flora da Lapônia); na Dinamarca, Simon Paulli (1603-1680), primeiro a usar o termo "flora" no título de seu livro; na Noruega, Friedrich Martens (1635-1699, flora da Noruega e Groenlândia).

As regiões da África, da América e da Ásia, sob o domínio colonial europeu, despertaram o interesse dos naturalistas por uma flora desconhecida em seus países. Uma série de viagens e excursões, com o

277 TATON, René. *La Science Moderne.*

propósito de estudar e coletar espécimes da flora local, se realizou, no século XVII, por botânicos, acompanhados por outros naturalistas e artistas, de várias nacionalidades. Especial atenção seria dada às propriedades medicinais dessas novas plantas, incorporadas ao acervo do conhecimento dos botânicos europeus. Assim, além de expandir o conhecimento da História Natural com a ampliação da área geográfica de atuação, as metrópoles coloniais se encarregariam de intensificar o comércio entre as suas colônias, promovendo e diversificando, inclusive, a cultura de certos espécimes em várias regiões.

No que se refere à flora do continente americano[278], devem ser citados os trabalhos dos franceses Jacques Cornut, no Canadá, de Vespasien Robin (1579-1662), na Virginia, Charles Plumier (1646-1706), com três viagens às Antilhas, e a publicação, em 1693, da *Descrição das plantas da América*, e o padre dominicano Jean Baptiste du Tertre (1610-1687), nas Antilhas, onde permaneceu por 16 anos e escreveu uma *História Geral das Antilhas*. Claude d'Abbeville e Yves d'Evreux descreveram várias plantas do Brasil, e o alemão Georg Marcgrave (1610-1644) e o holandês Willem Piso (1611-1678), estiveram no nordeste do Brasil, no período de Maurício de Nassau, em Pernambuco; estudou, o primeiro, o uso da ipecacuanha, e o segundo escreveu a *Historia Naturalis Brasiliae*, publicada em Amsterdã, em 1648.

Quanto à África, o farmacêutico holandês Outgaerts Cluyt (1577-1636) esteve no norte da África e escreveu um livro de como embalar e exportar as árvores, as plantas, os frutos e as sementes; Paul Hermann (1640-1695), na região do Cabo da Boa Esperança, e James Cunningham (? – 1709), na Ilha da Ascenção. Étienne de Flacourt (1607-1660), diretor-geral da Companhia do Oriente, descreveu algumas espécies novas, inclusive a planta carnívora, e em 1700, Tournefort esteve no Levante. Johannes Vesling (1598-1649) publicou, em 1638, seu estudo sobre as plantas do Egito.

Sobre a flora da Ásia[279], devem ser mencionados os holandeses Hendrik van Rheede tot Draakenstein (1637-1691) que, antes de se tornar Governador de Malabar, escreveu a monumental obra sobre as plantas das Índias, em 12 volumes – *Hortus Indicus Malabaricus*; estudo sobre as plantas medicinais da Índia, de Jakob de Bondt (1592-1631), seria publicado postumamente, em 1642; e Jan Commelin (1629-1692) pesquisou a flora das Índias. O alemão Engelbert Kaempfer (1651-1716) visitou o Irã, o Ceilão, o Golfo de Bengala, Sumatra, Tailândia e Japão, publicando um livro

[278] TATON, René. *La Science Moderne.*
[279] TATON, René. *La Science Moderne.*

(1672) sobre suas pesquisas. Herman Grim (1641-1711) estudou a flora do Ceilão e de Java; o jesuíta polonês Miguel Boym (1612-1659), a da China; o médico alemão Andreas Cleyer, a da China e do Japão; Christian Mentzel (1622-1701), a do Japão; Jan Nieuhof (1618-1672), a da China; Georg Kamel (1661-1706), a das Filipinas, e o alemão Georg Rumpf (1626-1707) escreveu sobre a flora das Índias.

6.9.5 Zoologia

Sem condições de estabelecer as bases teóricas, conceituais e metodológicas para orientar suas pesquisas, devido aos fatores limitativos decorrentes dos estudos precedentes e dos preconceitos seculares, os naturalistas se dedicaram, no campo da Zoologia, no século XVI, basicamente ao estudo da estrutura anatômica dos animais, com louváveis iniciativas na Fisiologia e na Taxonomia. Sem dispor, ainda, dos amplos recursos de pesquisa proporcionados por equipamentos científicos, como o microscópio, a Zoologia se limitaria ao "Mundo dos animais visíveis", o que contribuía, ainda mais, para reduzir a capacidade dos naturalistas em compreender o "Mundo animal".

Nenhum progresso real ou relevante ocorreu nas pesquisas e nos estudos zoológicos, desde Gesner até a primeira metade do século XVII, sendo que vários autores (Mayr, Rossi, Théodoridés) consideram tal período como de "estagnação completa". A *Historia Naturalis*, de John Jonston (1603-1675), publicada de 1657 a 1665, era, praticamente, uma reprodução do trabalho de Aldrovandi, que, por sua vez, era baseado em Gesner e Belon. A publicação póstuma *Teatro dos Insetos* (1634), de Thomas Moufet (1553-1604), não serviria, por seus erros, omissões e equívocos, de referência futura para os estudos em entomologia.

O estabelecimento de critérios objetivos, racionais e lógicos, com base na estrutura e características do animal, não ocorreria no século XVII. Uma tentativa de classificação zoológica se daria, contudo, na Inglaterra, com Francis Willughby (1635-1672) e John Ray (1637-1705), que trabalhariam juntos, o primeiro em Zoologia, e o segundo, na área mais ampla da História Natural. Em 1660, viajaram ambos por Gales e Cornualha, em busca de espécimes da flora e da fauna, para depois, de 1663 a 1666, excursionarem pelo continente europeu, quando completaram sua fase de trabalho de campo e de acumulação de exemplares. Encarregado de preparar o estudo sobre os animais, foi o trabalho interrompido pela morte repentina e prematura de Willughby, pelo que Ray se encarregou

de completar e publicar *Ornithology*, em 1675, na qual os pássaros são classificados com base em características estruturais, como a forma do bico ou a dimensão do corpo.

Ray continuaria seus estudos zoológicos, escrevendo ensaios sobre os quadrúpedes e os répteis (1693), os insetos (1705) e as obras póstumas, em 1673, sobre os peixes e os pássaros. Ray adotaria como ponto de partida de classificação o critério de que os animais deveriam estar "de acordo com o ambiente em que Deus planejara que iriam viver"; dividiria os animais em dois grandes grupos: os que têm sangue (todos os vertebrados, como os mamíferos, os peixes e os pássaros) e os que não têm sangue (os invertebrados, como os insetos e os crustáceos), e criou subdivisões, em que os invertebrados eram classificados pelo tamanho e os vertebrados pela estrutura do coração[280]. Apesar do método artificial utilizado, sua classificação seria a melhor até o aparecimento do trabalho de Linneu, no século seguinte.

6.9.5.1 Anatomia Animal

O conhecimento da Anatomia animal aumentou substancialmente no século XVII, por meio do grande número de pesquisas e estudos pioneiros e diversificados e do uso generalizado do microscópio, responsável direto pela descoberta do "Mundo do microrganismo", das bactérias, dos protozoários, dos glóbulos vermelhos, do espermatozoide. Animais de grande, médio e pequeno portes, domésticos e selvagens, bípedes e quadrúpedes, aves e peixes, praticamente toda a fauna conhecida seria objeto de pesquisa.

A menção a alguns pesquisadores e aos seus trabalhos zoológicos ilustra esse ponto. O médico e professor italiano Marco Aurélio Severino (1580-1656) publicou, em 1645, um tratado de Anatomia animal, no qual insistia sobre as semelhanças que apresentam os animais, apesar de suas indiscutíveis diferenças. O anatomista holandês Gerard Blaes (1626-1682), em seu *Anatome animalium*, de 1681, tratou tanto dos animais domésticos quanto do leão, tigre, hiena, lebre, rato, elefante, camelo e outros, mas sem apresentar um estudo útil de Anatomia comparada. Fabrício d'Acquapendente descreveu o estômago dos ruminantes, foi dos primeiros a estudar o desenvolvimento embrionário do pinto e reconheceu vários tipos de placenta dos mamíferos. O naturalista francês Claude Perault escreveria, a partir de 1671, uma série de monografias sobre animais, como o leão, o porco-espinho, o camelo, a águia, o avestruz, a tartaruga e outros.

[280] RONAN, Colin. *História Ilustrada da Ciência.*

Joseph Guichard Duverney (1648-1730) escreveria vários ensaios, entre 1676 e 1693, sobre animais (víboras, ouriços, avestruz, pantera, elefante). O inglês Samuel Collins (1618-1710) no *Sistema de Anatomia*, de 1685, descreveu a Anatomia dos pássaros e dos peixes. Edward Tyson (1649-1708) publicaria monografias de golfinho (1680), da cobra-cascavel (1683), do chimpanzé (1699). O médico holandês Nicolau Tulp (1593-1674), retratado no quadro *Uma Aula de Medicina*, de Rembrandt, incluiu um curto estudo sobre o orangotango em seu *Observationes medicae*, de 1640. Niels Steno (1638-1686) deixou importantes estudos sobre a arraia (1664), o tubarão (1667) e outros seláceos (1673), bem como um trabalho sobre os músculos da águia. O médico e naturalista Nehemiah Grew (1641-1712), que estudou o tronco, o estômago e os intestinos de vários mamíferos, peixes e aves, cunhou o termo "vertebrado", título de sua *Memória* (1675) sobre o assunto.

Além dessas diversificadas pesquisas anatômicas sobre uma grande variedade de animais, exame em separado deve ser estendido ao que se convencionou chamar de "Anatomia microscópica", tanto pela técnica utilizada para a pesquisa quanto pelos surpreendentes resultados obtidos da observação direta de minúsculos corpúsculos invisíveis a olho nu. A descoberta de um "Mundo novo", por si só já seria suficiente para estabelecer o grande avanço havido no conhecimento zoológico em relação ao século precedente. Três pesquisadores extraordinários sobressairiam nesses estudos: o italiano Malpighi e os holandeses Leeuwenhoek e Swammerdam[281].

Robert Hooke, incansável pesquisador, examinou, no microscópio, diversos invertebrados, reproduzidos em "lâminas" em sua *Micrographia*, de 1665: patas, olhos e asas de mosca, ferrão de abelha, olhos de libélulas, aranhas, formigas, ácaros, pulgas, piolhos, mosquito, etc. Frederico Cesi (1585-1630) e Francesco Stelluti (1577-1653) publicaram um *Apiarum Historia*, com excelentes reproduções da Anatomia (ferrão, patas, etc.) das abelhas. Giambattista Odierna (1597-1660) publicaria, em 1644, um ensaio sobre os olhos das moscas. O médico e naturalista Francesco Redi (1626-1697), em suas experiências sobre a reprodução dos insetos (1668), estudaria os piolhos de diversos animais (cabra, camelo, asno, cervo, galinha, tartaruga, cisne, pavão), carrapato de tigre, vários insetos (formigas, mosquitos). Em 1684, Redi publicaria uma obra sobre *Os animais vivos que se encontram nos animais vivos*, sua maior contribuição zoológica, por se tratar de verdadeiro tratado de parasitologia.

Marcello Malpighi estudaria a Anatomia do bicho-da-seda (cujos órgãos internos eram, então, negados), observaria a fabricação dos casulos, estudaria a crisálida, dissecaria e descreveria as libélulas adultas. Pesquisaria, no bicho-da-seda, a traqueia e suas intrincadas ramificações,

281 TATON, René. *La Science Moderne.*

concluindo, depois de acurado exame no escaravelho, cigarra, gafanhoto e abelha, que sua função respiratória equivalia à dos pulmões nos mamíferos e à das guelras nos peixes. Estudou, ainda Malpighi, os músculos, o coração, o tubo digestivo e os aparelhos genitais dos dois sexos, e descreveu as glândulas que produzem a seda. Seu extraordinário e pioneiro estudo do bicho-da-seda, intitulado *Bombix* (1669), é o primeiro trabalho anatômico completo de um invertebrado[282].

O microscopista holandês Antony van Leeuwenhoek (1632-1723), de origem humilde, não teve oportunidade de receber uma instrução formal; não cursou universidade, não conhecia o latim, e só se comunicava em holandês. Manteve extensa correspondência com a Sociedade Real e com a Academia de Ciências de Paris, mantendo-as informadas de suas pesquisas. A *Philosophical Transactions*, após traduzir as cartas-relatórios para o inglês, as reproduzia em seus números. A contribuição de Leewenhoek à Zoologia foi inestimável. Pesquisou e estudou a Anatomia dos mexilhões e a biologia das pulgas, descobriu, em 1700, em suas pesquisas sobre os pulgões, um fenômeno nunca visto, da reprodução sem copulação com o macho, o que seria a primeira constatação de uma "reprodução partenogênica", e observou o desenvolvimento da formiga, o aparelho venenoso das aranhas, a metamorfose da pulga. Descobriu "microscópicos corpúsculos" no espermatozoide humano (1674), bem como o de vários animais (cão, coelho, peixe)[283]. Leeuwenhoek descobriria, ainda, em 1675, os animais unicelulares (protozoários), cujo tamanho estimou em dez mil vezes menor que o de uma mosca, e, em 1683, descreveu seres vivos que apenas podiam ser vistos no limite de alcance de suas lentes, as bactérias, que só voltariam a ser observadas no século seguinte. Em 1684, descreveu os glóbulos vermelhos, que estimou em vinte e cinco mil vezes menores que um grão de areia.

O médico holandês Jan van Swammerdam (1637-1680), sistemático pesquisador na área da Anatomia microscópica, realizou seu principal trabalho em entomologia. Suas principais obras são a *História Geral dos Insetos*, de 1669, e a de publicação póstuma, escrita em 1675, intitulada *Vida Efêmera*, sobre as efeméridas. Foi o primeiro a realizar uma dissecação sob o microscópio, e escreveu e fez estudos comparativos das Anatomias das abelhas, vespas, formigas, mosquitos, libélulas e efeméridas. Tentou fazer uma classificação dos insetos, dividindo-os em "os que se desenvolvem diretamente, sem transformação, os que gradualmente adquirem asas, os que as adquirem após larvar e as que passam pelo estágio de ninfa".

---

[282] BARBOSA, Luiz Hildebrando Horta. *História da Ciência.*
[283] RONAN, Colin. *História Ilustrada da Ciência.*

Descobriu e estudou a reprodução de corpúsculos vermelhos (glóbulos vermelhos) no sangue das rãs, em 1658. Grande parte das pesquisas de Swammerdam seria publicada em 1737 e 1738, devido à iniciativa do médico e cientista holandês Hermann Boerhaave (1668-1738), com o título de *Bíblia da Natureza*[284].

6.9.5.2 Geração Espontânea

Um tema de grande importância, até então sem suscitar dúvidas, surgiria no século XVII, com a descoberta de um imenso número de espécies do reino animal, a partir das observações com auxílio do microscópio. Tratava-se de saber se tais microrganismos teriam ou não uma origem espontânea, ou seja, se eram resultado de geração espontânea. Os nascentes ramos da Embriologia (Malpighi), da Fisiologia (Harvey), da Entomologia (Redi) e da Microbiologia (Leeuwenhoek) se desenvolveriam, em parte, devido às pesquisas e estudos na busca de uma resposta a esse desafio.

Acreditava-se, desde a Antiguidade, que animais inferiores (moscas, caramujos, lesmas, vermes, sanguessugas, etc.) procriassem da putrefação de substâncias orgânicas; assim, os cadáveres gerariam vermes; as imundícies, insetos; e a carne putrefata do cavalo, zangões e vermes. Aristóteles afirmava a origem espontânea desses pequenos animais, e Lucrécio, no *De Rerum Natura*, assegurava que "se podem ver germes vir a emergir da terra imunda, quando, encharcada pelas chuvas sucessivas, entram em putrefação". Tais crenças predominaram ainda no Renascimento Científico, conforme atesta afirmação do naturalista Pierre Belon, de que "certos animais nascem por meio de ovos e sêmen, outros pela putrefação tanto da terra, quanto de plantas e de partes corrompidas de outros animais", conforme citado na *História da Ciência*, de Horta Barbosa. Os animais, assim gerados, eram normalmente de forma parasitária, como insetos, germes, lesmas e gusanos.

No século XVII, com a descoberta dos microrganismos e as observações e pesquisas pioneiras desses animais, pelo microscópio, permitiriam um reexame da questão da "geração espontânea"

O fisiólogo William Harvey (1581-1657) dedicou-se, além do estudo do coração e da circulação sanguínea, à Embriologia, pesquisando o desenvolvimento embrionário do pinto. Seu livro *De generatione animalium*, de 1651, anularia a distinção entre "vivíparos" e "ovíparos", com a famosa declaração de "omne vivum ex ovo omnia" (todo ser vivo vem do ovo)[285].

---

[284] RONAN, Colin. *História Ilustrada da Ciência.*

[285] ROSSI, Paolo. *O Nascimento da Ciência Moderna na Europa.*

Como Harvey, Malpighi relataria, em 1673, no *De formatione pulli*, suas observações sobre a formação do embrião do pinto no ovo.

Influenciado pela obra de Harvey, o naturalista Francesco Redi faria repetidas experiências, de forma a esclarecer o processo reprodutivo dos insetos. Em sua célebre obra de 1668, intitulada *Experiências sobre a geração dos insetos*, descreveu Redi o método comparativo de amostragem adotado, de forma pioneira, na pesquisa biológica. Redi preparou oito frascos, e neles introduziu variedades de carnes; quatro frascos foram vedados, e os restantes ficaram abertos, com a carne em contato direto com o ar fresco, o que permitia moscas e outros insetos pousarem na carne depositada. Depois de algum tempo, as carnes nos frascos fechados apenas começavam a entrar em decomposição, exalavam mau cheiro e não procriaram gusanos, enquanto as carnes nos frascos abertos estavam com vermes. Para verificar se fora a ausência de ar que impedira a proliferação dos gusanos, Redi repetiu o experimento com todos os frascos abertos para não impedir a entrada do ar, mas cobriu alguns com gaze, para impedir a entrada de moscas e outros insetos. Constataria Redi que não havia germes nas carnes recobertas de gaze, apesar da putrefação, ao passo que os vermes surgiam nas carnes descobertas, pelo acesso das moscas[286].

Resolvida essa questão da origem dos vermes das carnes podres, subsistiriam, contudo, os problemas da gênese dos vermes das frutas, das galas nos vegetais e de vermes nos intestinos. Para esses problemas, Redi não tinha explicação, admitindo, mesmo, a geração espontânea nesses casos.

Marcello Malpighi, em seus experimentos sobre o crescimento de larvas nas galas e a consequente descoberta dos insetos, já adultos, que desovam sobre as folhas e talhos tenros, gerando gusanos e vermes, provaria a inexistência de geração espontânea nesses casos.

Restaria, então, explicar a origem dos vermes intestinais, dificuldade ampliada pela presença de microrganismos, espórios, germes e mofos nas caldas orgânicas. A descoberta das bactérias, em 1674, por Leeuwenhoek, ao investigar gotas de água estagnada, seria publicada pela Sociedade Real (*Philosophycal Transactions*) em 1676, o que levaria muitos cientistas a considerarem que tais formas de vida poderiam vir de "matéria morta".

A teoria da geração espontânea seria definitiva e totalmente desacreditada somente no século XIX, com os trabalhos de Louis Pasteur (1822-1895).

[286] BARBOSA, Luiz Hildebrando Horta. *História da Ciência.*

6.9.5.3 Epigênese e Preformismo

De alguma maneira vinculada à questão da geração espontânea, o importante problema da formação do ser vivo seria outro tema controverso no século XVII. Desde a Antiguidade (Hipócrates, Empédocles, Aristóteles, Galeno e outros), era aceita a "teoria dos dois sêmens", pela qual o sêmen feminino se misturava com o masculino no útero feminino, criando uma "mistura" que daria origem ao feto. Nessa concepção, o macho, fornecendo a "forma ativa", era o agente primordial da geração, sendo a fêmea responsável apenas pela "substância passiva" da progênie[287]. Essa teoria seria adotada por Ambroise Paré, Bacon, van Helmont e Descartes, entre outros.

Praticamente todos os mamíferos são vivíparos, isto é, o embrião se desenvolve dentro do corpo materno e é alimentado por meio da placenta. Por outro lado, as aves, as cobras e os peixes que põem ovos são ovíparos. Francesco Redi demonstraria, em 1668, que os insetos também nascem de ovos [288].

No século XVII, surgiria a ideia de que os vivíparos se reproduziriam por meio de ovos invisíveis a olho nu. Essa polêmica não teria conclusão nesse século, mas seria extremamente benéfica para incentivar as pesquisas nos campos anatômico, fisiológico e embriológico da biologia humana.

Em 1651, em sua obra *exercitationes de generatione animalium*, William Harvey exporia a teoria da "epigênese" (termo cunhado por ele), pela qual "o primeiro produto da concepção sempre é uma espécie de ovo", tanto pela diferenciação gradual de suas partes, quanto pelo aumento de seu tamanho: *Omne vivum ex ovo omnia*. As conclusões de Regner de Graaf (1641-1673) no *De Mulierum organis generationi*, de 1672, confirmariam a teoria de Harvey, apesar de baseadas na sua suposta descoberta do óvulo (na realidade de Graaf descobriu os folículos ovarianos). O verdadeiro óvulo seria descoberto em 1828, por Karl von Baer (1792-1876). Notou ainda de Graaf a presença de "corpos amarelos" (transformação dos folículos depois da expulsão do ovo), e que restara apenas o feto em desenvolvimento. Estabelecia-se, assim, pela primeira vez, uma relação entre as transformações do ovário e os primeiros estágios do desenvolvimento uterino do embrião[289]. A partir daí, originou-se o ponto de vista de que as reproduções ovípara e vivípara começavam pela fertilização de um ovo formado na fêmea. Já Aristóteles demonstrara a presença de ovos em animais vivíparos (seláceos e víboras), o que viria a ser confirmado, inclusive, pelo naturalista Niels Steno, que, em 1667,

---

[287] HALL, A. Ruppert. *A Revolução na Ciência – 1500-1750.*
[288] ROSSI, Paolo. *O Nascimento da Ciência Moderna na Europa.*
[289] THEODORIDES, Jean. *Histoire de la Biologie.*

observou que os ovos provinham do testículo feminino (ovário), e que se desenvolviam no útero do animal.

Em 1677, Leeuwenhoek enviou à Sociedade Real de Londres carta na qual descreveu sua descoberta de "minúsculos corpúsculos" (espermatozoide), confirmada pelo microscopista Nicolau Hartsoeker (1656-1725) em carta a Christiaan Huygens, em 1678.

Tal descoberta parecia contrariar a "teoria da epigênese" em favor da "teoria da preformação". Leeuwenhoek explicou em carta a Jeremiah Grew, em 1678, serem os "animaizinhos" os embriões vivos, a que a transplantação para o ovo permitia crescerem; e declarou "se o vosso Harvey e o nosso de Graaf tivessem visto uma centésima parte, teriam afirmado, como eu fiz, ser exclusivamente o sêmen masculino que forma o feto, e que tudo aquilo em que a mulher possa contribuir serve apenas para receber e alimentar o sêmen"[290]. Pela "teoria da preformação", a questão da geração se transformava em um "problema de crescimento", em que o microrganismo, e não o ovo, conteria o embrião pré-formado do indivíduo adulto, limitada a fecundidade a ativar seu crescimento e provocar o seu desenvolvimento visível. Na obra *La Recherche de la Verité*, de 1674, Nicolau Malebranche apresentou a teoria do preformismo: desde a Criação, existem os germes de todos os indivíduos; como miniaturas, estão encaixados uns dentro dos outros; assim, o indivíduo que irá nascer dali a mil anos já está pré-formado, faltando apenas seu crescimento, que ocorrerá no útero materno.

Dessa forma, ao final do século XVII, duas teorias, a "epigênica" (desenvolvimento gradual) e a "preformista" (crescimento), se contrapunham, sem resolver, igualmente, a controvérsia entre o "ovismo" e o "microrganismo" sobre o portador do embrião. A questão permaneceria em aberto, suscitando pesquisas e debates nos séculos seguintes.

6.9.5.4 Anatomia Humana

O interesse pela pesquisa para um melhor entendimento da Anatomia humana, que tanto avançara no século XVI, prosseguiria com intensidade, por naturalistas e médicos, principalmente com a difusão do uso do microscópio, durante o século XVII, que muito facilitava a tarefa do pesquisador, fornecendo-lhe dados desconhecidos e possibilidades de observação inestimáveis. A total interdição da dissecação, apesar de não ter sido levantada, era contornada, com muita frequência, sob

[290] HALL, A. Ruppert. *A Revolução na Ciência – 1500-1750.*

diversos pretextos; para tanto, se utilizavam, com frequência, cadáveres de criminosos. Assim, os pesquisadores passaram a utilizar, cada vez mais, o corpo humano para pesquisas, o que levou à aplicação do método comparativo e ao desenvolvimento da "Anatomia comparada". O ensino prático, nas Escolas de Medicina, da Anatomia humana, como instituído por Vesalius, seria um fator adicional para o progresso, no meio médico, da compreensão do funcionamento do corpo humano. Embora as aulas ainda fossem basicamente discursivas e teóricas, ganharia adeptos o reconhecimento das vantagens da experimentação e da pesquisa laboratoriais.

Ao mesmo tempo, os avanços nos diversos ramos da Biologia humana pressupunham um conhecimento acurado e exato do corpo humano, servindo de estímulo adicional para a crescente expansão do campo de pesquisa.

Na Osteologia, foram estudados os ossos grandes, como o esferoide e o etmoide, bem como os pequenos e as cartilagens. Devem ser lembrados os estudos de Thomas Willis (1621-1675), publicados em 1664, como *Cerebri anatome*, no qual descreveu a circulação cerebral e o polígono que leva seu nome.

A Angiologia se beneficiaria dos estudos, principalmente, de Harvey e Malpighi, enquanto Gasparo Aselli (1581-1626) descobriu os canais lácteos (1622), e Jean Pecquet, os dutos linfáticos (1651).

A Histologia se estruturaria com as pesquisas e Análises microscópicas das estruturas pulmonares, do baço, dos rins, do fígado e da pele, de Marcello Malpighi, criador desse ramo da Anatomia.[291]. Hooke, em *Micrographia*, e Leeuwenhoek deram, igualmente, importantes contribuições nessa área.

Os Músculos foram estudados pelo citado Willis em *De motu musculari* e pelo matemático suíço Jean Bernoulli em *De motu musculorum*, em 1694. Tanto Harvey quanto o holandês Regner de Graaf (1641-1673) defendiam ser o coração um músculo. O matemático, físico, naturalista e iatrofísico Gian Borelli (1608-1673) escreveu o *De motu animalum*, com extensa descrição do corpo humano.

A Neurologia seria, também, objeto de pesquisa, em especial de Thomas Willis e de Raymond de Vieussens (1635-1715), com sua exata descrição dos vasos coronários e dos nervos periféricos do cérebro. Malpighi observou a coluna vertebral, e, em 1665, em seu livro *De Cerebro*, expôs como os feixes de fibras nervosas se dirigiam à coluna vertebral e eram ligados ao cérebro.

[291] LIMA, Darcy. *História da Medicina.*

Os órgãos dos "sentidos" foram também estudados, devendo-se ressaltar o excelente trabalho do italiano Antonio Maria Valsava (1666-1723) sobre o aparelho auditivo.

Os nomes mais representativos de pesquisadores dos grandes órgãos são os do naturalista holandês Adriaan van der Spiegel (1578-1625), por suas pesquisas sobre o fígado; do inglês Thomas Wharton (1614-1673) e do naturalista Niels Steno, sobre as glândulas; do médico iatrofísico Lorenzo Bellini (1643-1704), sobre os rins; do alemão Hans Konrad Peyer (1653-1712), que notou, em 1677, os folículos linfáticos dos intestinos; do alemão Johann Konrad Brunner (1653-1727), descobridor, em 1682, das glândulas duodenais; e do inglês Nathanael Highmore (1613-1685), que pesquisou os órgãos genitais. O médico holandês Regner de Graaf pesquisou também o aparelho reprodutor, descrevendo, em 1668, a fina estrutura dos testículos; e, em 1673, a dos ovários, na obra *De mulierum organis*. De Graaf estudou, ainda, minúsculas estruturas, que até hoje são chamadas de "folículos ovarianos de De Graaf". Seus estudos seriam importantes para a Fisiologia, em especial para a reprodução animal, na elucidação da questão.

6.9.5.5 Fisiologia Humana

Se a Anatomia dominou os estudos biológicos do século XVI, a Fisiologia, sem dúvida, seria o principal ramo de atividades dos pesquisadores no século XVII, do que resultaria um extraordinário progresso no conhecimento das funções dos diversos órgãos do corpo humano.

O desenvolvimento da Fisiologia não foi uniforme no conhecimento dos diversos sistemas do organismo humano. Aos seus avanços limitados, por exemplo, da digestão e da respiração, ocorreria notável progresso nos sistemas sanguíneo e linfático, com a descoberta dos respectivos processos circulatórios. A explicação se encontra em que, estando ainda a Química em um estágio incipiente, os sistemas dependentes, fundamentalmente, de fenômenos químicos, não teriam base conceitual e empírica para se desenvolver como outros, circulatórios, que dependiam, basicamente, de fenômenos mecânicos, largamente estudados no século XVII.

Quanto à fisiologia da digestão, os médicos holandeses Jan Baptiste van Helmont, químico, descobridor do gás, descreveu o processo digestivo como uma operação de fermentação: a estomacal (ácida) e a duodenal (alcalina), e analisou o suco gástrico; Franciscus Sylvius

(1614-1672) estudou, igualmente, o suco gástrico (inclusive a saliva) e concordou com van Helmont sobre o aspecto químico da digestão; e Regner de Graaf, aluno de Sylvius, ampliou o conhecimento da digestão, com experiência do pâncreas e da vesícula biliar dos cães, coletando, sem ajuda do microscópio, as secreções que esses órgãos lançam nos intestinos[292].

No que se refere à fisiologia da respiração, Robert Hooke mostrou que o movimento mecânico do tórax não era essencial para a respiração. Os médicos Richard Lower (1631-1691) e John Mayow (1640-1679) pesquisaram o pulmão, sua importância no processo respiratório e na circulação do sangue.

Em vista do extraordinário progresso nas pesquisas dos sistemas circulatórios do sangue e da linfa, ao ponto de servirem de referência na constituição das bases de uma Fisiologia independente da Anatomia, é conveniente uma informação mais circunstanciada sobre a descoberta de ambos os sistemas.

6.9.5.5.1 Sistema Circulatório Sanguíneo

O sistema de circulação do sangue exposto por Galeno foi aceito, sem contestação, até o século XVII, inclusive pelos grandes anatomistas Andreas Vesalius, Realdo Colombo, Gabrielle Fallopio, Fabricio d'Acquapendente e Bartolomeo Eustachio. O médico grego distinguia dois sistemas circulatórios: o primeiro, com função de nutrição, seria formado pelas veias e pelo lado direito do coração; nesse sistema, o sangue seria produzido pelo fígado, que transformaria em sangue venoso os alimentos ingeridos. O segundo sistema circulatório seria constituído pelas artérias e pela parte esquerda do coração, com a função de transmitir a todo o organismo a "alma" ou o "espírito vital", que opera no coração. Através de uma suposta porosidade na parede entre os ventrículos, uma parte do sangue arterial passaria para o ventrículo esquerdo, misturando-se com o ar que viria dos pulmões, os quais teriam uma ação refrigeradora sobre o coração. O sangue absorvido pelos tecidos seria expelido pela respiração. Com o ar no ventrículo esquerdo, o sangue se enriqueceria com o "espírito vital" e se transformaria em sangue arterial[293]. A função central do coração seria a diástole ou dilatação, pela qual o sangue seria "atraído" para o interior do coração.

Em meados do século XVI, o médico espanhol Miguel de Servet (1511-1553) expôs, em sua *Christianismi Restituo*, de 1553, o que viria a ser conhecido como "circulação pulmonar" ou "pequena circulação". Por essa

---

[292] SAKKA, Michel. *Histoire de l'Anatomie Humaine.*
[293] ROSSI, Paolo. *O Nascimento da Ciência Moderna na Europa.*

hipótese, já que Servet não procedeu a nenhuma experimentação, o sangue iria do ventrículo direito aos pulmões, e daí, para o ventrículo esquerdo, o que contrariava, assim, o sistema de Galeno. A apresentação dessas ideias em um livro de Teologia mereceu do naturalista Pierre Flourens (1794-1867) um artigo explicativo da circulação do sangue, publicado no *Journal des Savants*, em 1854, com o comentário de que

> a Escritura diz que a alma está no sangue, que a alma é o próprio sangue. *Anima est in sanguine, anima ipsa est sanguis*. Dado que a alma está no sangue, para saber como a alma se forma, é preciso ver como se forma o sangue, para saber como ele se forma é preciso saber como ele se move... Desse mesmo sangue, que se forma a alma, se formam todos os espíritos...

Vesalius (1555), Colombo (1559), Cesalpino (1593) e outros estudaram o coração, mas não contestaram o sistema de Galeno, que continuou a prevalecer, único, nos meios médicos. Acquapendente, que fora professor de Harvey, em Pádua, descobriu, em 1603, as válvulas das veias, que permitem o sangue fluir somente em direção do coração[294].

A descoberta da "grande circulação", por William Harvey, significou um acontecimento da maior importância na História da Ciência, e da Biologia, em particular. Com essa descoberta, lançou Harvey as bases da "Fisiologia", pela aplicação dos métodos comparativo e quantitativo e pelo pioneirismo no conhecimento das funções do coração e na demonstração da circulação do sangue. Defensor da Ciência experimental, advogava Harvey a utilização da dissecação humana para melhor pesquisar e entender o corpo e as funções dos órgãos. Seu pequeno livro, de apenas 72 páginas, de grande valor científico e histórico, intitulado *Sobre o Movimento do Coração e do Sangue* (*Exercitatio de Motu Cordis et Sanguinis*), foi impresso na Holanda, em 1628.

O médico inglês William Harvey (1578-1657), de família com recursos, estudou em Cambridge e cursou Medicina (1599-1602) na mais famosa Universidade, a de Pádua, onde foi aluno de Acquapendente, e onde, provavelmente, conheceu Galileu. Formado em 1602, regressou à Inglaterra, onde, além de uma clínica proveitosa, dedicou-se, igualmente, à pesquisa, em especial do coração e dos vasos sanguíneos. Em 1609, foi nomeado médico do prestigioso Hospital de São Bartolomeu, em Londres, e, em 1618, do rei Jaime I, e, depois, do rei Carlos I, a quem acompanhou em viagens e na campanha da Guerra Civil. Monarquista, foi hostilizado por suas ideias políticas; nomeado, em 1645, para o Merton College, de

[294] TATON, René. *La Science Moderne.*

Oxford, retirou-se, no ano seguinte, para a vida privada, quando a cidade foi ocupada pelos Puritanos. Sua casa foi saqueada, tendo-se perdido muitos manuscritos e material de sua coleção anatômica. Ridicularizado por médicos e intelectuais, por sua teoria da circulação do sangue, Harvey ainda escreveria, em 1649, sobre o assunto, o livro *Exercitatio Anatomica de Circulatione sanguinis: ad Johannes Riolanun*, famoso anatomista parisiense, defensor do sistema de Galeno. Por sua pesquisa sobre o embrião do pinto, Harvey é, também, considerado o fundador da Embriologia; defendeu a doutrina ovípara e se manifestou pela geração espontânea.

Desde 1616, iniciara Harvey um ciclo de conferências, nas quais esboçou sua teoria da circulação do sangue. Nessas conferências, e, depois, na obra *De Motu Cordis*, Harvey exporia uma série de críticas e dúvidas à doutrina de Galeno[295]:

i) a quantidade de sangue expelida pelo coração em uma hora supera o peso de um Homem, o que tornaria impossível tal quantidade enorme de sangue ser produzida pela nutrição. Harvey observara que, contraindo-se o coração 60 vezes por minuto, e que, sendo de duas onças a capacidade do ventrículo esquerdo, envia ele, em uma hora, 540 libras de sangue por todo o corpo humano, peso esse três vezes maior que o peso de um Homem corpulento. A única explicação estaria em que essa quantidade de sangue percorreria os vasos sanguíneos em circuito fechado e em circulação contínua;
ii) a passagem do sangue do ventrículo direito para o esquerdo, através de uma porosidade do secto intraventricular, não era comprovável, uma vez que tal porosidade deveria ser invisível, pois não era observada. O secto, com uma estrutura mais dura e compacta do que muitos outros tecidos, não poderia servir de passagem para o sangue;
iii) como os dois ventrículos se dilatam e se contraem ao mesmo tempo, não seria possível ao ventrículo esquerdo aspirar sangue do da direita. Considerando que os animais sem pulmões são desprovidos de ventrículo direito, é lógico pensar que esse ventrículo teria a função de transmitir sangue ao pulmão. Este raciocínio de Harvey se baseava em seus estudos comparativos, método essencial na Ciência biológica;
iv) se aberta uma pequena artéria, todo o corpo fica totalmente sangrado no prazo de aproximadamente meia hora, o que

[295] ROSSI, Paolo. *O Nascimento da Ciência Moderna na Europa.*

> evidenciaria que todo o sangue do corpo circula pelas artérias.

Além dessas observações, constatara Harvey que o coração endurece, como o bíceps do braço, ao se contrair e as artérias se dilatam, que as contrações das aurículas e dos ventrículos se sucedem, descoberta possível na observação dos animais de sangue frio, pela lentidão das contrações, e, finalmente, que havia uma simultaneidade das batidas do pulso com as do coração[296].

Tais constatações reforçaram sua conclusão de que a circulação do sangue se faz sempre no mesmo sentido, das aurículas para os ventrículos e, destes, pelas artérias pulmonares e aorta, para os pulmões e para toda a rede arterial. Harvey insistiria muito sobre a circulação contínua no mesmo sentido: do coração esquerdo para todo o corpo e deste para o coração direito de onde o sangue vai para os pulmões, retornando ao coração esquerdo, fechando-se o circuito.

O modelo de Harvey, diferente do de Galeno, é mecânico: o coração seria parecido a uma bomba, em que as veias e as artérias funcionam como um líquido sob pressão e em movimento, e as válvulas das veias como válvulas mecânicas. O coração era, assim, um músculo, cuja contração era responsável pelo movimento do sangue. Desta forma, Harvey se insurgiria contra a "doutrina dos espíritos", de Galeno, retomada pelo médico Jean Fernel (1497-1559) na famosa *Universa medicina*, de 1542: num cadáver, as artérias, o ventrículo esquerdo e as cavidades do cérebro aparecem vazios, porém, em vida estavam repletas por um "espírito etéreo". Por essa doutrina, o movimento do sangue era causado pelos "espíritos" do sangue, servindo o coração, principalmente, como o órgão que preparava os "espíritos vitais"[297]. Tal concepção, para Harvey, era vaga, indeterminada, imprópria e mística, não devendo ser usada na pesquisa empírica. Para Harvey, a noção de "espíritos", para ser aceitável, não devia ser entendida como força oculta ou como poder multiplicado ao infinito, a fim de poder explicar os fenômenos vitais, mas como meros aspectos, qualidades ou características empíricas do sangue[298].

A publicação da obra *De Motu Cordis* provocaria uma grande controvérsia com um número elevado de médicos, os quais se recusavam a aceitar o novo modelo circulatório. Dentre os principais opositores[299] devem ser citados: Jean Riolan (1580-1657), anatomista de Paris, autor do *Tratado do movimento do sangue*

[296] BARBOSA, Luiz Hildebrando Horta. *História da Ciência.*
[297] MASON, Stephen. *Historia de las Ciencias.*
[298] ROSSI, Paolo. *O Nascimento da Ciência Moderna na Europa.*
[299] SAKKA, Michel. *Histoire de l'Anatomie Humanie.*

e da verdadeira circulação, segundo a doutrina de Hipócrates, de 1652; Guy Patin (1601-1672), galenista convicto; o escocês James Primerose (1592-1659), doutor de Montpellier; e o italiano Parisano, de Veneza (1592-1659). Dos que aceitaram, desde o início, o trabalho de Harvey, devem ser mencionados, além de Descartes e Hobbes, os médicos holandeses van Helmont, Franciscus Sylvius (1614-1672) e Regner de Graaf (1641-1673). Os anatomistas alemães Gaspar Hofmann (1572-1648), Armando Conring e Paul Schelegel; o holandês Fortunatus Plemp (1601-1674) e o francês Gui Fagon (1638-1718) resistiram bastante tempo para abandonar a doutrina galênica, e só aderiram ao novo modelo de Harvey com relutância e algumas dúvidas.

Um único ponto não ficava esclarecido na circulação do sangue proposta por Harvey, que tinha, aliás, consciência do problema: como explicar a passagem do sangue das artérias para as veias. O grande cientista italiano Marcello Malpighi completaria a concepção anatomo--fisiológica da circulação do sangue ao descobrir, quando trabalhava com microscópio sobre o tecido pulmonar, finos vasos em rede, denominados de "vasos capilares" por ele, que comunicariam as pequenas artérias às veias; estava, assim, comprovada a passagem do sangue arterial pelas veias para retornar ao coração direito. A descoberta de Malpighi consta de sua obra *De pulmonibus observationes anatomicae*, de 1661.

O processo de oxigenação do sangue nos pulmões fora apenas percebido por Harvey. O médico inglês Richard Lower (1631-1691) observou que o sangue venoso escuro, em contato com o ar, se transformava em sangue arterial, mais claro. Conectando essa diferença de coloração à respiração, mostraria Lower que a mudança ocorria nos pulmões, pelo que a explicação deveria ser a de que alguma substância deveria passar do ar para o sangue; a comprovação se daria com a descoberta da composição do ar por Lavoisier. Em 1665, realizou Lower a primeira transfusão sanguínea de um animal para outro.

6.9.5.5.2 Sistema Circulatório Linfático

Outro fundamental sistema circulatório descoberto no século XVII foi o "linfático". Desde a Antiguidade, já eram conhecidos os "vasos quiláteros". Herófilo, segundo Galeno, já teria detectado tais vasos em cabras mortas, logo depois de os animais terem comido, mas, em seu entender, os vasos seriam "veias nutritivas dos intestinos". Erasístrato teria, também, observado nas cabras os vasos "cheios de leite", chegando

à mesma conclusão que seu colega. No século XVI, o anatomista Eustacchio descreveria, em 1553, uma veia branca (canal toráxico) de um cavalo. Outro grande anatomista italiano, Fallopio, notaria vasos brancos que, do fígado, se dirigiam para "glândulas" próximas do pâncreas. Até então, com tão esparso e insuficiente conhecimento, não se tinha ideia do complexo sistema que viria a ser chamado de "linfático"[300].

A descoberta do sistema circulatório linfático, no século XVII, foi tão importante e revolucionário quanto o do sistema sanguíneo, por suas implicações para o conhecimento da fisiologia animal e para o descrédito da tradição anatomo-fisiológica de Galeno, que, por essa época, começava a ser um óbice para o desenvolvimento da Biologia.

O médico e anatomista italiano Gasparo Aselli (1581-1626) fez uma extraordinária constatação, em 23 de julho de 1622, durante a vivissecção de um cão, que havia sido recém-alimentado; ao abrir o abdômen do animal, notou Aselli uma rede de finos vasos brancos, cobrindo os intestinos e o mesentério (dobra irregular dos intestinos), pelos quais passava um líquido esbranquiçado como "leite". Depois de vários experimentos, inclusive com animal em jejum, quando não era notado esse "quarto vaso mesaraico" (os outros sendo os nervos, as artérias e as veias), descreveu Aselli tais vasos de *venae albae et lactae* (veias brancas e lácteas) na obra que seria publicada, postumamente, em 1627, com o título *De lactibus sive lacteis venis*. Nesse livro, de um ano antes do célebre *De motu cordis* de Harvey, Aselli julgou, no entanto, que tais vasos brancos transportavam material linfático intestinal para o fígado, órgão central do organismo, na doutrina galênica, no qual o sangue seria produzido.

O anatomista francês Jean Pecquet (1622-1674) descobriu, em 1647, o canal torácico, o qual tem sua fonte, como todos os vasos linfáticos, num receptáculo, conhecido até hoje como "cisterna de Pecquet", em homenagem a seu descobridor. Pecquet escreveu duas obras, publicadas, ambas, em 1651, com os títulos de *De circulatione sanguinis et chyli motu* e *De thoracis lacteis*, nas quais descreveu a rede linfática e ganglionária[301]. Nessas importantes obras, Pecquet demonstrou que o "quilo" (líquido esbranquiçado a que ficam reduzidos os alimentos na última fase da digestão nos intestinos) se precipita numa "cisterna", atravessa o diafragma, atinge o tórax e chega, pela veia cava superior, ao coração direito. Essa descoberta da rede e da circulação teria ampla repercussão, pois provava que os alimentos não passavam pelo fígado, como afirmado por Galeno. Dessa forma, o alimento iria diretamente ao sangue pelos vasos linfáticos.

---

[300] SAKKA, Michel. *Histoire de l'Anatomie Humaine.*
[301] TATON, René. *La Science Moderne.*

O naturalista sueco Olaf Rudbeck (1630-1702) descobriu, em 1653, os "gânglios linfáticos" e, independentemente de Pecquet, o canal torácico e a cisterna.

Pouco depois, o dinamarquês Thomas Bartholin (1616-1680), autor, em 1652, de *De lacteis thoracis in homine brutisque nuperrime observatis*, no qual descreveu, pela primeira vez, o ducto torácico, escreveria, em 1653, o *Vasa lymphatica*, em que generalizava o sistema: no fígado havia vasos que não continham o "quilo branco digestivo", mas "linfa", que corria em vasos análogos aos lácteos, com os quais formavam um sistema particular[302]. Nessa rede de vasos, corria um líquido transparente, visível em todos os animais em jejum; a esse líquido, Bartholin deu o nome de "linfa". Tais vasos linfáticos, descobertos no cão, em 1652, seriam detectados no corpo humano, em 1654, e descritos na obra, de 1655, *Defensio vasorum lactorum et lymphaticorum adversus Joannem Riolanum*. Estava, definitivamente, provado não ser o fígado o criador do sangue e o centro das veias, ainda defendido pelos seguidores da doutrina galênica. Bartholin escreveria, em 1661, a esse propósito, o *Dissertatio anatomica de hepate defuncto*.

6.9.6 Iatroquímica e Iatrofísica

No século XVI, o famoso médico suíço Teofrasto von Hohenheim, mais cohecido como Paracelso, daria uma especial ênfase na importância da Química na Medicina, como o uso do mercúrio, do ferro, do enxofre e dos extratos alcoólicos. Vários médicos, no século XVII, dada a influência desses ensinamentos, procurariam explicar a atividade do organismo humano sob o enfoque da Química. Um de seus primeiros propugnadores seria Jan Baptiste van Helmont (1577-1644), que se dedicaria à pesquisa e à prática médica. Desenvolveria a "teoria das fermentações", base da doutrina iatroquímica (do grego *iatrós* para médico, Medicina), pela qual os processos fundamentais básicos da vida eram devidos a fermentações que ocorriam no corpo humano, como a digestão no estômago e a adição da bile para absorção da gordura[303]. Sua obra póstuma, *Ortus Medicinae*, foi editada em 1648, por seu filho.

O médico alemão Franz de la Boë (1614-1672), conhecido pelo nome latinizado de Franciscus Sylvius, foi professor da Faculdade de Medicina de Leiden, tendo muito estudado e pesquisado em Fisiologia e Química. Foi dos mais conceituados "iatroquímicos" de sua época, bem

[302] SAKKA, Michel. *Histoire de l'Anatomie Humaine.*

[303] LIMA, Darcy. *História da Medicina.*

como o inglês Thomas Willis, autor de *Cerebri anatome* (1664) e o holandês Daniel Sennert.

Na segunda metade do século XVII, sob influência da "doutrina mecanicista" de Descartes (o corpo do Homem é uma máquina), que escrevera o *Traité de l'Homme*, parte integral do *Traité du Monde ou de la Lumière*, em 1633, se desenvolveria a "doutrina iatrofísica", a qual explicava todo o funcionamento do organismo, em contraste com a doutrina iatroquímica, em termos físicos e mecânicos. Seu fundador foi o matemático e professor de Medicina, Giovanni Borelli (1608-1679), que, interessado nas pesquisas de Malpighi, utilizou seus conhecimentos matemáticos na Anatomia e na Fisiologia em sua obra *De motu animalium*. Dividiu os movimentos em internos e externos e postulou que a contração muscular ocorria devido a impulsos trazidos pelos nervos, calculando a força contrátil do coração e a resistência periférica ao fluxo sanguíneo. Descreveu, ainda, a mecânica respiratória, mas rejeitou qualquer participação da Química na mistura do ar com o sangue. De seus inúmeros seguidores, o mais conhecido é Giorgio Baglivi (1668-1706), autor de *Praxi medica.*

PARTE II

O DESENVOLVIMENTO CIENTÍFICO NO SÉCULO DAS LUZES

parte II
O Desenvolvimento Científico no Século das Luzes

6.10 Introdução

No século XVIII, também conhecido como o "Século das Luzes", o "Século da Razão", a "Era do Iluminismo", a "Era da Ilustração", o "Século Europeu" ou "O Grande Século", a Europa foi palco de profundas transformações, fruto de uma evolução mental e intelectual, cujas bases se encontravam nos séculos precedentes. Verdadeira revolução doutrinária, as novas ideias e os novos conceitos tiveram repercussão desestabilizadora e de longo alcance nos domínios social, político, econômico, religioso, científico e artístico. O processo histórico seria, assim, necessariamente conturbado, uma vez que o antagonismo de visão e de interesses levaria a uma confrontação entre as novas concepções da Natureza, da Sociedade e do Homem e as forças conservadoras das instituições, das prerrogativas, dos privilégios e do preconceito. O absolutismo político, o direito divino do Soberano, o imobilismo social, o "classicismo" cultural e o poder da Igreja dominavam, ainda, uma Sociedade, em todos os seus níveis, apegada a valores e a ensinamentos do passado. À preservação do *status quo* e ao imobilismo, se contraporiam, no devido tempo, os ideais de igualdade de direitos, educação universal e laica, liberdade de pensamento e de expressão, representação política, cidadania, noção de progresso e de otimismo, racionalismo. Tais teses e reivindicações tornam o período,

principalmente a partir de meados do século, de grande relevância para a evolução da Humanidade e, em especial, para a História da Ciência.

Filósofos de diversas tendências sustentariam conceitos e defenderiam proposições que, à exceção de pensadores vinculados aos interesses dominantes, significavam mudanças na estrutura social e política dos Estados. O debate intelectual teria, necessariamente, vínculos diretos com o problema fundamental da afirmação do pensamento científico, apenas delineado a partir do chamado Renascimento Científico.

No Renascimento Científico e no século XVII, intelectuais e filósofos naturais concentraram suas críticas a ensinamentos da Antiguidade e da Escolástica, mas respeitaram a ordem social constituída e acataram suas bases metafísicas e teológicas. A Ciência era, apenas, tolerada para "servir a Deus e à Religião", com a intenção confessada de mostrar e demonstrar a perfeição da "maravilhosa obra divina".

No século XVIII, em particular com os pensadores do chamado "Iluminismo", o âmbito da contestação, de nítida tendência laica e anticlerical, se ampliaria para o social e o político, o que reforçaria a posição reivindicatória de amplos setores intelectuais no sentido de tornar a Ciência liberada e independente de orientação teológica e metafísica. Nesse processo, o desenvolvimento científico no Século das luzes se daria num contexto bastante diverso do anterior, com uma reivindicação social e política, o que viria a ser a grande modificação filosófica e conceitual introduzida pelos pensadores do século XVIII. É a partir do século do Iluminismo que a Ciência estará definitivamente vinculada ao Homem e à Sociedade e que o destino da Humanidade será decidido nos laboratórios.

A preciosa herança científica seria, igualmente, da maior importância para o grande salto conceitual e experimental ocorrido no século XVIII. Intelectuais e filósofos naturais saberiam utilizar o acervo cultural acumulado, adaptando-o, para adequá-lo a uma nova e diferente visão do Mundo, da Sociedade e do Homem.

Do ponto de vista filosófico e conceitual, a introdução de uma nova dimensão humana e social, com novos valores éticos, em que a Ciência buscaria proporcionar o bem-estar do Homem e o progresso da Sociedade, estava em flagrante contraste com o objetivo anterior de controlar a Ciência e subordiná-la a interesses teológicos. Essa nova dimensão teria profundas implicações futuras, pois redundaria na inclusão da área social no âmbito da competência e da ação da Ciência.

No passado, vários pensadores (Morus, Maquiavel, Campanella, Bacon, Suarez, Grotius, Hobbes, Espinosa e Locke, entre outros) escreveram sobre temas que afetavam a vida humana e social, como o exercício do

poder, a propriedade, o trabalho, a desigualdade social e econômica, a discriminação e os privilégios, a educação, e, até mesmo, sobre a evolução histórica dos povos. Tais críticas, além de limitadas, sugeriam modelos de Sociedades utópicas, sem atentar para um enfoque científico para os "fatos sociais". Vico, Montesquieu e Condorcet seriam os pioneiros nessa busca de melhor entender os fenômenos sociais. Vale indicar que, em *Uma nova Ciência* (1725/30), Vico defendia que as Sociedades Humanas estavam subordinadas à lei do *corsi e ricorsi*, pela qual a evolução social atinge determinado progresso para depois entrar em decadência. Montesquieu (*Espírito das Leis*, 1748) afirmava que os fatos sociais deveriam ser tratados como fatos naturais, ambos subordinados a leis, e Condorcet (*Esboço de um Quadro Histórico dos Progressos do Espírito Humano*, 1794) demonstraria, em oposição às teses de Rousseau, o valor da Ciência no aprimoramento do espírito humano e no progresso da Sociedade e das civilizações.

O maior avanço possível, nessa época, seria limitado, contudo, à insinuação ou mesmo ao entendimento de que a evolução e os fatos sociais estariam subordinados a leis, como a Física e a Química, e que sua descoberta permitiria estudar os fatores intervenientes na Sociedade, e neles influir, dando-lhe condições de agir de forma a se beneficiar e a progredir. Tal pioneirismo frutificaria no século seguinte, com o reconhecimento da validade da inserção dos "assuntos sociais" no campo da Ciência e a consequente criação da Sociologia. Essa nova abrangência, do Homem e da Sociedade como sujeito e objeto da Ciência, seria um dos grandes impulsionadores dos notáveis progressos, nos séculos seguintes, da pesquisa e do espírito científicos. Nesse sentido, as críticas contundentes no meio intelectual europeu às bases filosóficas seculares que orientavam a Filosofia Natural seriam um dos aspectos mais significativos do processo evolutivo da Ciência. O reconhecimento de que a pesquisa científica deveria orientar-se por princípios e conceitos distintos dos até então vigentes deve ser entendido, por seu significado para a evolução do pensamento científico, como mais importante e representativo do que o desenvolvimento da investigação laboratorial. A defesa por uma Ciência independente, laica, secular, comprometida com o Homem e a Sociedade, seria a grande contribuição da intelectualidade europeia para o futuro desenvolvimento da Ciência.

O movimento contestatório no domínio político e social, simbolizado pela Revolução Francesa, e no campo científico, em favor da "laicização" e secularização da Ciência, só daria frutos, contudo, mais tarde. A partir do século seguinte, uma nova geração de políticos, filósofos sociais, cientistas e intelectuais, imbuída de um novo espírito e apoiada

por movimentos e reivindicações populares, teria condições, então, de mudar, radicalmente, o ambiente social e a estrutura política em grande número de países europeus e de outros continentes; essa mudança viria a permitir um novo e propício cenário para o desenvolvimento e afirmação do pensamento científico e da Ciência experimental.

A História da Ciência no século XVIII não pode, assim, limitar-se à mera sucessão das experiências e da formulação das leis científicas nos vários ramos, mas requer o entendimento preliminar da evolução do pensamento filosófico e do espírito científico no período, porquanto seriam decisivos para o reconhecimento da prioridade da Ciência na busca de uma compreensão racional dos fenômenos naturais.

Nessas condições, a mais importante consequência da obra do Iluminismo no campo filosófico-científico foi a de promover a desvinculação da Ciência da influência teológica e metafísica, com o propósito de torná-la independente e laica. Ao estabelecer as novas bases e os parâmetros para a Ciência racional e experimental, os pensadores do século das luzes dariam uma contribuição decisiva e extraordinária para o progresso da Ciência nos séculos vindouros. Horta Barbosa explica bem este ponto ao salientar a indiferença dos pesquisadores científicos à teleologia, ou seja, às explicações ligadas aos objetivos últimos. A Ciência e a Tecnologia, continua o mesmo autor, se orientariam no sentido puramente humano, da descoberta das leis que regem quaisquer acontecimentos, de modo a prevê-los, a fim de prover as necessidades e interesses da Sociedade Humana[304].

Condorcet ilustrou o ponto de vista iluminista ao escrever que

> o mais importante (benefício), talvez, é o de ter destruído os preconceitos, corrigido, de alguma maneira, a inteligência humana, forçada a curvar-se às falsas direções que lhe imprimem as crenças absurdas transmitidas para a infância de cada geração, com os terrores da superstição e o temor da tirania. Todos os erros em política, em moral, têm por base erros filosóficos que, eles mesmos, são ligados a erros físicos.

Continua Condorcet,

> Não existe nem um sistema religioso, nem uma extravagância sobrenatural, que não sejam fundados na ignorância da Natureza. Os inventores, os defensores desses absurdos, não podiam prever o aperfeiçoamento sucessivo

[304] BARBOSA, Luiz Hildebrando Horta. *História da Ciência.*

> do espírito humano. Persuadidos de que os homens sabiam, em sua época, tudo aquilo que podiam saber, e acreditariam sempre naquilo que então acreditavam, com confiança eles apoiavam suas divagações nas opiniões gerais de seu país e de seu século[305].

Foi imensa e fundamental a extraordinária contribuição dos filósofos e pensadores do século XVIII para o desenvolvimento do espírito científico e dos diversos ramos da Ciência. Diversas correntes do pensamento humano, do teológico ao materialismo cético, participaram desse grande debate que envolvia temas e proposições de completa abstração filosófica até os rumos do conhecimento científico. O significativo avanço das disciplinas e do espírito científico atesta a importância desse confronto de ideias na História da Ciência.

Nessa época de grande efervescência intelectual e de revisão de valores humanos e sociais, a mais eloquente expressão do Iluminismo ocorreu na França, na segunda metade do século, com o movimento denominado de “Enciclopedismo”, nome derivado da publicação *Enciclopédia Francesa* ou *Dictionnaire Raisonné des Sciences, des Arts et des Métiers*, que, sob a inspiração, coordenação e supervisão de Diderot, seria publicada de 1751 a 1780, em 28 volumes (17 de textos e 11 de pranchas ilustradas), com a participação de 160 colaboradores (dentre os quais, Diderot, D’Alembert, Rousseau, Condorcet, Voltaire, Quesnay, Turgot, Holbach, Jaucourt, Saint-Lambert, Guyton de Morveau, Marmontel e os abades Yvon e de Prades). Censurada pelo Parlamento, em 1759, por suas críticas à Igreja, em razão da visão materialista e anticlerical de alguns dos autores, e de parte da intelectualidade francesa comprometida com a tradição, a obra teria, finalmente, no reinado de Luiz XVI, a aprovação oficial da Coroa. A Enciclopédia, precedida, em 1750, pelo *Prospectus*, de Diderot, conta com uma célebre parte introdutória, de d’Alembert, intitulada *Discurso Preliminar*, seguida da *Explicação Detalhada do Sistema dos Conhecimentos Humanos* e das *Observações sobre a Divisão das Ciências do Chanceler Bacon*, ambas de Diderot, dos diversos artigos ou verbetes, dispostos em ordem alfabética, e ilustrações.

A Enciclopédia, do grego *“enkyklios paideia”* (ciclo completo do aprendizado), divulgou a súmula das grandes descobertas científicas e técnicas e do conhecimento filosófico e artístico da época. Importante notar, como escreveu Alain Pons, que a Ciência desinteressada, na Enciclopédia, não é a “ciência geral”, de Leibniz, nem a dedutiva, de Descartes, “metafisicamente garantida pela existência de Deus”, mas a “Ciência

[305] CONDORCET. *Esboço de um Quadro Histórico dos Progressos do Espírito Humano.*

experimental", tal como a praticavam, em seus laboratórios, a Sociedade Real de Londres e a Academia de Ciências de Paris, e a Física newtoniana, que oferecem o modelo considerado definitivo. Desta forma, continua Pons, a Ciência é um processo em constante evolução, incessantemente enriquecida de novas experiências e descobertas, que não pode ser encerrada em um sistema fechado[306]. Aliás, o próprio título da obra indicava o caráter "racional" do trabalho, que incluía, além de verbetes sobre Ciência, artigos sobre o estágio alcançado pela Técnica e os Ofícios da época.

A imensa repercussão das duas vertentes do Iluminismo, a sócio--político-econômica e a científico-técnica, na Sociedade e no Homem europeu, seria determinante para as grandes transformações ocorridas no século seguinte. Na primeira metade do século XIX, surgiria, contudo, um movimento de reação ao racionalismo que viria a predominar, eventualmente, na comunidade artística. Essa reação se manifestaria contra o "cientificismo", por meio do "romantismo" na Literatura, Artes Plásticas e Música, bastante difundido na França, Alemanha e Itália, da chamada "Naturphilosophie" de Friedrich von Scheling, de curta e limitada repercussão na Alemanha, e do "idealismo", de Georg Wilhelm Friedrich Hegel.

6.10.1 Considerações Gerais

Duas Revoluções de imenso significado histórico foram iniciadas na Europa na segunda metade do século XVIII: a Revolução Francesa, preponderantemente social e política; e a Revolução Industrial, na Inglaterra, nitidamente econômica. Tais revoluções resultaram de uma série de fatores, que as tornam um marco divisório, do fim de uma era para o início de outra no século seguinte, pelas transformações de uma Europa, socialmente feudal, economicamente agrícola, artesanal e mercantilista, politicamente absolutista e teologicamente dogmática, em uma Sociedade ávida de liberdade de pensamento, de opinião e de religião, de igualdade jurídica e de oportunidades, de participação na vida pública.

Essa transformação, sintoma da emergência da classe burguesa, ansiosa por conquistar direitos civis e políticos e defender seus interesses e ideais iluministas, teve suas raízes no final do século XVII e prosseguiria no século XIX, mas atingiu, na segunda metade do século XVIII, seu primeiro momento dramático.

Na medida em que as estruturas social, política, econômica, cultural e religiosa, impostas por um Estado dominado e gerido por um Soberano,

[306] ENCICLOPÉDIA FRANCESA. *Edição Flammarion (1986). Introdução de Alain Pons.*

sustentado pela Nobreza e pelo poder espiritual, não atendiam mais aos interesses de uma dinâmica burguesia, apoiada por um proletariado sem direitos e explorado economicamente, as reivindicações e pressões foram crescendo até redundarem num enfrentamento, face às resistências interpostas pelos defensores do *status quo*.

O início do desmoronamento da "velha ordem social" e da construção de uma Sociedade em novas bases, de um lado, e a gradativa substituição da política mercantilista pela da liberdade econômica e comercial, e o começo do processo de industrialização, de outro lado, situam o século XVIII, principalmente na segunda metade, no centro desse processo evolutivo, como o período representativo do fim de uma era, com as consequentes implicações nas diversas esferas.

O mapa político europeu continuaria a apresentar importantes modificações ao longo do século XVIII, em razão da instabilidade das fronteiras, devido aos constantes conflitos entre os Reinos e às suas inevitáveis consequências políticas. Tais rivalidades e enfrentamentos, pela afirmação nacional, hegemonia política e ambições das Casas reinantes (Bourbon, Habsburgo, Hohenzollern, Romanoff), explicam as várias alterações no mapa político da região, inclusive com o esfacelamento e desaparecimento de Estados soberanos. Ao mesmo tempo, a fragilidade do inconstante esquema de alianças contribuiria para as frequentes mudanças no cenário político europeu.

A França, que exercera o predomínio político e econômico no século XVII, se enfraqueceria e perderia essa posição privilegiada para a Inglaterra, devido, principalmente, às desastradas políticas externas expansionistas e intervencionistas de Luiz XIV (1643-1715: Guerra da Holanda, Guerra de Sucessão da Espanha e Guerra da Liga de Augsburgo); de Luiz XV (1715-1774: Guerra de Sucessão da Áustria e Guerra dos Sete Anos); e de Luiz XVI (participação na Guerra de Independência das 13 colônias norte-americanas), que esgotaram a economia nacional e comprometeram seu império colonial, a despeito de ganhos territoriais no continente. Com a queda da Monarquia, em 1792, instalou-se na França a República; em 1795, o Diretório; em 1799, o Consulado, e, em 1804, o Império; durante todo esse período, o país, praticamente isolado, a não ser pelos soberanos submetidos ao poder napoleônico, enfrentaria diversas coligações de países europeus contra os perigos que representavam a divulgação dos ideais da Revolução Francesa e a supremacia francesa para a ordem estabelecida. As ambições territoriais francesas no continente seriam definitivamente contidas pela Inglaterra, Prússia, Áustria e Rússia, no Congresso de Viena (1814-1815).

A Grã-Bretanha, sob a dinastia Hanover – Jorge I, Jorge II e Jorge III – consolidaria seu vasto Império colonial a expensas da França e da Espanha, com a dominação da Índia, do Canadá, de ilhas do Caribe e das Antilhas, e de áreas na Ásia e África, apesar da perda das 13 colônias americanas, em 1776. Graças a uma deliberada política de criação de poder naval e de proteção e expansão de seu comércio internacional, a Grã-Bretanha, principalmente durante os governos dos Ministros William Pitt (pai e filho), interveio na política continental, tanto para influir no sistema de alianças e em eventuais ganhos políticos, quanto para expandir e consolidar seu Império colonial e dominar as rotas marítimas. Nesse período, Inglaterra e Escócia se uniriam, em 1701, para, posteriormente com a Irlanda (1800), formarem o Reino Unido da Grã-Bretanha.

As Províncias Unidas mantiveram, no século XVIII, suas colônias nas Américas e na Ásia, mas perderam prestígio e poder no jogo político europeu. Portugal e Espanha manteriam, igualmente, seus respectivos Impérios coloniais, mas suas participações na política europeia seriam irrelevantes, atrelando-se Portugal aos interesses ingleses pelo Tratado de Methuem de 1703.

A Áustria dos Habsburgos – Carlos VI, Maria Tereza, José I e Francisco II – seria a grande potência da Europa central, impedindo a expansão do Império Otomano, que atingira seu auge com o cerco de Viena (1683), e até mesmo com a aquisição de territórios como a Sérvia, Bósnia, Transilvânia e Hungria. A Alemanha continuaria dividida num grande número de Reinos e Principados, mas os da Saxônia, Baviera e Prússia seriam os mais importantes. Constituída como Reino em 1701, a Prússia (Frederico I, Frederico Guilherme e Frederico II, o Grande) passaria a ter uma presença ativa na política europeia, dados seu expansionismo territorial e seu poder militar.

A Polônia, que já perdera a Silésia para a Prússia, desapareceria temporariamente do mapa europeu, após a terceira partilha (1795); priorizaria suas fronteiras a oeste e, com isto, passou, pela primeira vez, a interferir na política continental, por meio de alianças e ganhos territoriais.

Os Bálcãs continuariam dominados pelo Império Otomano, enquanto os países escandinavos, em particular a Suécia, que no século XVII se expandira pela Europa oriental, passaria a ter um lugar secundário no cenário internacional.

No âmbito da política interna, predominou, na Europa ocidental, o absolutismo, com a concentração do poder governamental na pessoa do Soberano, com exceção da Grã-Bretanha, na qual o Parlamento detinha boa parte da autoridade. As decisões, inclusive as relativas às cobranças de impostos e extensão de privilégios, eram adotadas sem consulta aos

súditos, que não participavam da vida pública. A censura era regra geral, não sendo permitida qualquer publicação sem o consentimento de uma comissão oficial. Restrições nos vários domínios (social, cultural, religioso, econômico, político) interferiam diretamente na vida privada dos súditos, que estavam submetidos à vigilância policial; até o deslocamento de uma região para outra do próprio país era controlado pelas autoridades.

Na Europa oriental, onde a burguesia ainda não se constituía em classe, nem possuía qualquer poder econômico, a autoridade real foi, de algum modo, desafiada pela "aristocracia", que possuía extensas propriedades territoriais. Era o caso da Polônia, da Hungria e da Suécia, cujos governantes respeitavam as prerrogativas da "nobreza". Na Rússia, Pedro, o Grande, exerceu o poder absoluto, impondo-se ao Clero e à Aristocracia, reformando a máquina do Estado e o Exército.

Na segunda metade do século XVIII, alguns monarcas, por influência das ideias liberais preconizadas pelo Iluminismo, impuseram em seus países algumas medidas racionais e equitativas de Governo, com o objetivo de prover a prosperidade do Reino e o bem-estar da população. Não se tratava de uma "monarquia constitucional", pois era mantido o "princípio da origem divina" da autoridade real, que era exercida de forma total e absoluta, nem de modificação da estrutura política e social do Estado, pois as "classes inferiores" não adquiriram "direitos políticos e sociais", permanecendo como súditos, não se transformando em "cidadãos" do Reino. A ação desses monarcas absolutistas era dirigida à reforma da organização do Estado, de modo a tornar o aparelho estatal mais eficiente, em benefício de todos, mas sem concessões que pusessem em risco a autoridade e o poder do Soberano. Historiadores chamam a esses soberanos do século XVIII de "déspotas esclarecidos", como José I de Portugal (com o Marquês de Pombal como Primeiro-Ministro, de 1755 até 1777), Carlos II, da Espanha, José II, da Áustria, Frederico II, da Prússia e Catarina II, da Rússia, os quais protegeram as Artes e as Ciências, mantiveram correspondência com filósofos, literatos e cientistas, e pediram a colaboração de alguns intelectuais para suas iniciativas culturais.

Na esfera social, perdurava, por toda a Europa, o sistema feudal, em que a Sociedade se dividia em "nobreza", pequeno grupo aristocrático privilegiado com prerrogativas e vantagens, como isenção de impostos, financiada pelo Tesouro ou pela exploração das terras herdadas ou obtidas da Coroa; o "Clero", cúmplice do poder real e da aristocracia, donde recrutava seus futuros dirigentes, proprietário de imensa riqueza e beneficiária, igualmente, de privilégios e imunidades; e o "povo", constituído de artesãos, comerciantes e lavradores, sem direitos políticos

e civis, sobrevivendo em flagrante contraste com o luxo e o desperdício das outras classes. Em alguns países, como a Grã-Bretanha, a França e as Províncias Unidas, uma influente e emergente classe média, a "burguesia", começaria, no século XVIII, a se insurgir contra a ordem constituída, reivindicando direitos e igualdade jurídica e defendendo seus interesses econômicos e comerciais. Esses anseios da burguesia seriam interpretados, proclamados e veiculados por intelectuais, filósofos e juristas, que seriam os verdadeiros autores e responsáveis pela Revolução Francesa. A "onda revolucionária" se espalharia da França, principalmente com o advento do Consulado e do Império, sob Napoleão, por toda a Europa, gerando um clima de instabilidade política em vários países, que se coligariam para enfrentar o perigo representado pelos novos ideais. Assim, do ponto de vista social, o século XVIII representaria o fim do sistema feudal e o início da formulação de novas bases para a estruturação da Sociedade.

No domínio da economia, ocorreria na Grã-Bretanha, a partir de meados do século XVIII, o que se convencionou chamar de Primeira Revolução Industrial (1750-1815), processo de mecanização da indústria, com reflexos em diversos setores, como agricultura, transporte, energia, etc. As transformações reforçariam o Capitalismo como modo de produção, e diferenciaria nitidamente duas classes sociais: a burguesia, possuidora dos meios de produção, e o proletariado, detentor da força de trabalho. A produção industrial, organizada, até então, na fase artesanal, se estruturaria em novas bases, com a criação de um sistema fabril mecanizado, que produziria mercadorias em grandes quantidades, a um custo decrescente e em menor quantidade de tempo, e que não dependia mais de uma demanda existente, pois era capaz de criar seu próprio mercado. A resultante especialização do trabalho facilitaria, por seu turno, a introdução de máquinas, numa crescente substituição de mão de obra operária pela máquina. Ao mesmo tempo, ocorria outra revolução, com a substituição da força motriz humana por outras (ar, água, vapor), que resultaria em grande aumento da produção fabril. A limitação da função do trabalhador levaria a uma desqualificação do trabalho, permitindo a introdução, no processo produtivo, de mão de obra não qualificada (mulher, criança), cuja grande disponibilidade permitiria o aumento da jornada de trabalho e menor remuneração. A indústria, por seu turno, representava mais mercado para os produtos agrícolas, contribuindo, assim, para significativo avanço nesse setor, que passaria de mero produtor de subsistência para uma agricultura de mercado.

A indústria têxtil, em especial a de algodão, está na raiz da "revolução industrial inglesa", que empregava, inicialmente, a energia

hidráulica e depois a máquina a vapor; por esta razão, as primeiras fábricas foram instaladas ao longo dos rios, o que, também, levaria à construção de canais para escoamento da produção, já que o estado dos caminhos por terra era ruim, tornando o transporte terrestre oneroso, lento e perigoso.

Uma série de inovações tecnológicas em máquinas, em processos e em utilização de energia permitiria o contínuo aperfeiçoamento do processo industrial. Em 1733, John Kay inventou a "lançadeira de tear", possibilitando fabricar, com mais rapidez, tecidos mais largos; James Hargreaves inventaria, em 1765, máquina capaz de produzir oito fios simultaneamente, a qual foi aperfeiçoada, em 1769, por Richard Arkwright, e, novamente, em 1779, por Samuel Crompton. O tear mecânico seria desenvolvido por Edmund Cartwright, em 1785, permitindo uma produção equivalente a 200 operários. O americano Eli Whitney (1765-1825) projetou, em 1793, uma máquina de descaroçar algodão que seria a base da expansão da produção algodoeira no sul do país no século seguinte.

No setor metalúrgico, os pioneiros foram Abraham Darby, que, em 1709, substituiria o carvão vegetal pelo coque, e Henry Cort, que, em 1782, descobriu o processo de "pudlagem" para fabricar o ferro fundido.

Na área da energia, Thomas Newcomen inovou, em 1712, com a fabricação de uma máquina a vapor, a qual seria aperfeiçoada por James Watt, em 1764, com seu emprego na tecelagem de algodão, em 1785. Robert Fulton, em 1807, construiria um navio a vapor, e George Stephenson, em 1814, idealizaria a locomotiva a vapor. Os caminhos de terra seriam melhorados substancialmente a partir de 1806 com a técnica de pavimentação com pedra britada, desenvolvida pelo escocês John McAdam (1756-1836).

A Primeira Revolução Industrial se estenderia, a partir do início do século XIX, à França, à Alemanha, às Províncias Unidas e aos países escandinavos, para atingir, depois, a maioria dos países europeus e os Estados Unidos da América, cujas economias, com exceção da Holanda, eram fundamentalmente agrícolas.

Essas revolucionárias modificações no sistema de produção teriam profundos reflexos na, até então vigente, estrutura social, gerando crises, pobreza e desemprego no proletariado, criando uma enorme discriminação na distribuição de renda e estabelecendo um evidente contraste social e político entre uma "opulenta" classe burguesa e uma "explorada" classe proletária.

Duas Escolas de teoria econômica, uma francesa e outra inglesa, prosperariam em oposição ao "mercantilismo", que predominara nos séculos XVI e XVII, pelo qual, a verdadeira riqueza consistia no comércio. A primeira delas, conhecida como "fisiocrata", considerava os bens materiais, em especial aqueles obtidos mediante o cultivo da terra, como a

verdadeira riqueza, e a agricultura como a única atividade que requer um consumo de bens (sementes e meios de subsistência) menor que o produto resultante. Assim, os fisiocratas defendiam que somente a agricultura seria capaz de produzir o excedente que seria repartido entre as demais classes da Sociedade. Contrários a qualquer interferência do Estado na produção e na comercialização, celebrizaram seus adeptos a expressão *laissez faire, laissez passer*. Os principais representantes dessa Escola, cuja influência ficou, praticamente, limitada à França, foram François Quesnay (1694-1774), médico, economista e enciclopedista, autor de *Tableau Économique* (1758) e *Physiocratie* (1768); Jean Claude Gournay (1712-1759), Inspetor de Comércio no reinado de Luiz XV; Turgot (1727-1781), Inspetor-geral de Finanças no reinado de Luiz XVI, autor de *Reflexions sur la Formation et la Distribution des Richesses* (1766); e Dupont de Nemours (1739-1817), político e agricultor, autor de diversos escritos sobre Economia Política.

Nessa mesma época, surgiu na Grã-Bretanha, mais precisamente na Escócia, outra "Escola" de pensamento econômico, de cunho liberal, que distinguia o valor de uso do valor de troca das mercadorias. A riqueza seria constituída pelos valores de uso, ou seja, a riqueza de uma nação era expressa pelo seu produto *per capita*. Baseada na teoria de valor-trabalho, essa Escola argumentava que o crescimento da riqueza dependia, essencialmente, da produtividade do trabalho que, por sua vez, era uma função de seu grau de especialização, isto é, da extensão alcançada pela divisão de trabalho. Dependendo a divisão do trabalho da extensão do mercado, a limitação deste por obstáculos ao comércio interno e externo seria contrário aos interesses das nações comerciantes. Daí, a defesa do livre-cambismo e da remoção de barreiras ao comércio interno, de forma a permitir o desenvolvimento das forças produtivas.

Esse liberalismo econômico, que correspondia aos interesses dos capitalistas manufatureiros da época (e dos industriais, mais tarde), teve como arauto o economista escocês Adam Smith (1723-1790), exposto na famosa obra *Investigação sobre a natureza e as causas da riqueza das nações* (1776), cujo texto definitivo seria impresso em 1784. A teoria econômica liberal de Adam Smith seria triunfante no século XIX, com a quebra do poder e privilégios das companhias de comércio e corporações.

A Revolução Industrial, ao atender aos interesses da classe burguesa, seria a grande força por traz do expansionismo colonial, do fortalecimento do sistema capitalista, do grande avanço tecnológico, do desenvolvimento do conhecimento científico e das profundas transformações das estruturas sociais e políticas nos séculos seguintes.

No terreno religioso, o poder espiritual, político e social das diversas Igrejas Cristãs (Católica, Protestantes, Ortodoxas) continuava tão forte e dominante como nos séculos anteriores, apesar do crescente anticlericalismo e ceticismo nos meios intelectuais de vários países. Beneficiadas por privilégios e prerrogativas seculares, e aliadas do poder monárquico, as Igrejas, com raras e honrosas exceções, se constituíram em defensoras e baluartes da manutenção do *status quo*, uma vez que se encontravam envolvidas na administração dos Reinos e na educação e orientação dos jovens. O misticismo, o preconceito e a ignorância da esmagadora maioria do "povo" asseguravam a permanência da autoridade eclesiástica, nos terrenos político e espiritual, dificultando, e impedindo, em alguns casos, o surgimento de novas ideias e reivindicações de mudança do quadro social, político, econômico, cultural e espiritual da Europa.

Na área da Ciência, o desenvolvimento de conceitos, teorias, doutrinas e princípios científicos, e deste modo, o próprio progresso da Ciência, foi comprometido e seria prejudicado pelas restrições, oposição e resistência das Igrejas a tudo que pudesse, de alguma maneira, representar perigo para o exercício, presente e futuro, de seu poder, e que pudesse demonstrar falsidades em seus ensinamentos dogmáticos.

No campo artístico, ocorreu um extraordinário desenvolvimento das Artes e das Letras, em todas as suas manifestações, como, aliás, já acontecera no século precedente. Beneficiadas pelo requinte, luxo e riqueza das cortes europeias e pelo patrocínio de vários Soberanos e nobres, com o propósito de enaltecer a grandeza e o esplendor majestático do absolutismo e da origem divina do poder real, as Artes se inspiraram no modo de vida das cortes, criaram de acordo com a magnificência dos palácios, produziram para o entretenimento e diversão da aristocracia e se colocaram a serviço dos patrocinadores. A arte decorativa, o mobiliário, a tapeçaria e o vestuário refletiam o gosto de uma classe preocupada em ostentar. Temas religiosos e da vida cortesã predominaram na criação artística, por meio dos estilos Barroco, rococó e neoclássico; o romantismo, como expressão artística, só apareceria no final do século XVIII.

Nomes de extraordinários artistas, até hoje lembrados e admirados, deram maior brilho ao Século das luzes: na Literatura, Defoe, Swift, Pope, Fielding, Hume, Sterne, Gibbon, Luzán, Samaniego, Goldoni, Marivaux, Voltaire, Prevost, Rousseau, Diderot, Beaumarchais, Chenier, Lesage, Saint-Simon, Marmontel, Lessing, Herder, Schiller e Goethe; na Arquitetura e Escultura, Soufflot, Gabriel, Salvi, os irmãos Adam, Houdon, Coustou e Bouchardon; na Pintura, Watteau, Boucher, Chardin, Fragonnard, David, Hogarth, Reynolds, Gainsborough, Tiepolo e Goya;

e na Música, Vivaldi, Scarlatti, Pergolese, Bocherini, Rameau, Telemann, Gluck, Bach, Haendel, Haydn e Mozart.

Dada sua imensa influência na evolução do espírito científico e de sua importância na "independização" da Ciência do ranço teológico e metafísico, tornando-a laica e positiva, a Filosofia Moderna, inaugurada por Descartes, merece um registro adicional como homenagem aos pensadores do século XVIII, que mostraram o caminho para a Sociedade Humana atingir um novo estágio de sua evolução mental e intelectual. Hume, Montesquieu, Voltaire, De La Mettrie, Holbach, Helvetius, Condillac, Rousseau, D'Alembert, Diderot, Condorcet, Beccaria e Kant devem, portanto, ser reverenciados como verdadeiros grandes nomes da Humanidade.

6.10.2 A Ciência no Século das Luzes

A preciosa herança científica seria da maior importância para o grande salto conceitual e experimental ocorrido na Ciência no século XVIII. Intelectuais, pensadores e filósofos naturais saberiam utilizar o acervo cultural acumulado, adaptando-o, para adequá-lo a uma nova e diferente visão do Mundo, da Sociedade e do Homem. Nesse processo, o desenvolvimento científico no Século das luzes se daria num contexto bastante diverso do anterior, com uma nova mentalidade social, o que viria a ser a grande modificação filosófica e conceitual introduzida pelos pensadores do século XVIII. É a partir do século do Iluminismo que a Ciência estará definitivamente vinculada ao Homem e à Sociedade e que o destino da Humanidade será decidido nos laboratórios.

Do ponto de vista filosófico e conceitual, a introdução de uma nova dimensão humana e social, com novos valores éticos, em que a Ciência buscaria proporcionar o bem-estar do Homem e o progresso da Sociedade, estava em flagrante contraste com o objetivo anterior de controlar a Ciência e subordiná-la a interesses teológicos. Essa nova dimensão teria profundas implicações futuras, pois redundaria na inclusão da área social no âmbito da competência e da ação da Ciência.

O maior avanço possível, nessa época, seria limitado, contudo, à insinuação, ou, mesmo, ao entendimento de que a evolução e os fatos sociais estariam subordinados a leis, como a Física e a Química, e que sua descoberta permitiria ao Homem estudar os fatores intervenientes na Sociedade, e neles influir, dando-lhe condições de agir de forma a se beneficiar e a progredir. Tal pioneirismo frutificaria no século seguinte com

o reconhecimento da validade da inserção dos "assuntos sociais" no campo da Ciência e a consequente criação da Sociologia, por Augusto Comte. Essa nova abrangência, do Homem e da Sociedade como sujeito e objeto da Ciência, seria um dos grandes impulsionadores dos notáveis progressos, nos séculos seguintes, da pesquisa e do espírito científicos. Nesse sentido, o século XVIII pode ser considerado como o período em que se estabeleceram as bases conceituais e mentais que permitiriam o surgimento de uma Ciência laica e positiva na segunda metade do século XIX.

Do ponto de vista institucional, significativas alterações ocorreriam, igualmente, de forma a promover o ensino e o desenvolvimento da Ciência, de acordo com os novos objetivos impostos por uma nova mentalidade e um nascente espírito científico.

As Instituições do século XVII, como as Academias, Gabinetes de Curiosidade (embriões dos Museus), Bibliotecas, Jardins Botânico e Zoológico, bem como os "salões" e cafés, continuaram a suscitar interesse nos meios oficiais, intelectuais, e, até mesmo, na aristocracia. Em consequência, tais instituições e centros de debates se expandiram no século XVIII, assumindo papel crucial no desenvolvimento da Ciência, divulgando e popularizando as experiências laboratoriais, contribuindo, de forma decisiva, na mudança da mentalidade da época, e proporcionando contatos pessoais e de correspondência entre intelectuais, trocas de ideias e iniciativas conjuntas.

Academias de Ciência, com o patrocínio do soberano, foram criadas (Berlim, 1700; Uppsala, 1710; Bolonha, 1714; São Petersburgo, 1725; Estocolmo, 1739; Madri e Bruxelas, 1772); a Academia de Paris, reorganizada em 1699, seria desativada pela Revolução Francesa e incorporada ao recém-criado Instituto de França (1794). Os Monarcas, em especial os chamados "déspotas esclarecidos" (Frederico II da Prússia e Catarina II da Rússia) prestigiaram os intelectuais, que, como Diderot, Euler, os Bernoullis, Maupertuis, Lagrange, D'Alembert, Monge e Laplace, entre outros, dirigiriam Academias, receberiam pensão, ministrariam aulas e cursos e serviriam de ponto de atração para debates. Associações particulares foram fundadas, como a Sociedade Lunar (1766), em Birmingham (Watt, Priestley, Erasmus Darwin); a Sociedade de Manchester (1781), presidida, durante anos, por John Dalton; e a Sociedade Filosófica, de Edimburgo, com sessões regulares a partir de 1783 (David Hume, Adam Smith, Joseph Black, James Hutton).

Na França, "salões" famosos, como o de Madame Tencin (Helvetius, Fontenelle, Montesquieu, Mably) e o de Madame L'Espinasse (Turgot, d'Alembert) e o restaurante "Procope", fundado em 1689, onde

se reuniam Diderot e intelectuais da época, e, na Inglaterra, os cafés "Douglas's" e "Marine" serviam de ponto de encontro para debates filosóficos e científicos. Algumas escolas superiores, equivalentes às atuais escolas técnicas, foram, também, criadas, como o Colégio Carolíngeo (Kassel - 1704); as de engenharia, em Viena (1717) e em Praga (1718); de agricultura, na França, em 1761; de silvicultura, nas montanhas Harz (1763); de mineração, na Hungria e na Saxônia, em 1765. A famosa Escola Politécnica da França, criada em 1794, pela Revolução Francesa, e onde ensinaram, entre outros, Lagrange e Monge, seria uma das responsáveis pelo extraordinário avanço da Ciência no país. A Escola Normal, criada no mesmo ano, teria curta existência.

A Universidade, que detivera o virtual monopólio do ensino superior, perderia, assim, essa posição privilegiada, tendo tido, em consequência, um papel secundário, bastante reduzido, no processo evolutivo da Ciência no século XVIII. Poucos foram os cientistas que ocuparam cátedra nas universidades, preferindo ensinar nos novos centros de altos estudos ou se dedicar às pesquisas no âmbito das Academias ou em laboratórios próprios a se submeterem ao conservadorismo universitário, hostil às novas ideias e contrário à nova mentalidade, que começava a prevalecer no meio científico. As universidades, assim, continuaram a desempenhar sua função de ensinar, mas não eram, em termos gerais, lugares apropriados e favoráveis à pesquisa e à criação científicas. Tornadas conservadoras e corporativas, avessas às novas tendências, as universidades seriam importantes, contudo, no ensino da chamada "ciência normal"[307].

Além dessas atividades culturais, vale mencionar as expedições científicas, patrocinadas pelas Academias (Berlim, Paris, Estocolmo, São Petersburgo) ou diretamente pelo Erário do Reino, como a expedição do dinamarquês Vitus Bering a Kamchatcka para descobrir uma passagem por terra entre a Ásia e a América; a de Carl Linneu (1731) à Lapônia; e a expedição de Maupertuis (1736) à Lapônia e de La Condamine ao Peru para verificar a forma da Terra. Várias expedições científicas ao interior dos países (França, Inglaterra, Espanha, Suíça, Itália, Rússia, Suécia) foram realizadas com o propósito de melhor conhecer a geologia, a flora e a fauna locais. Ao mesmo tempo, foram, igualmente, patrocinadas viagens e expedições de além-mar para estudo e coleta de espécimes e material, principalmente no domínio da História Natural, como a de La Condamine ao Peru, quando explorou a região amazônica; a de Bougainville às terras austrais e à Polinésia; e as do capitão James Cook ao Pacífico Sul e ao Atlântico Norte.

[307] BURKE, Peter. *Uma História Social do Conhecimento.*

Durante o século XVIII a Grã-Bretanha e a França foram, incontestavelmente, os países mais avançados em pesquisa científica nos diversos ramos. A Holanda e a Itália continuariam como centros importantes de estudos, mas já sem os mesmos resultados que no passado; vários de seus cientistas (Spallanzani, Galvani, Volta, Ingenhousz) contribuiriam para o avanço da Ciência, mas suas instituições (Leiden, Bolonha, Florença, Pádua) já sofriam a competição de outros polos de excelência. A Alemanha, dividida em vários Reinos e com uma economia ainda em base rural, começaria a despontar nos círculos científicos com obras de inegável valor na Química (Klaproth), na Matemática e na História Natural. A Suíça teria uma posição de liderança na Matemática (família Bernoulli, Euler, Lambert) na primeira metade do século, e contribuiria (Jussieu, Candolle) para a História Natural, o mesmo ocorrendo com a Suécia nos campos da Botânica (Linneu), Química (Scheele) e Mineralogia (Bergman, Cronstedt). A Rússia se encontrava, ainda, na fase de aprendizado da Ciência europeia. Polônia, Áustria, Dinamarca, Espanha e Portugal não tiveram relevância científica nesse período.

Extraordinários avanços, nos diversos ramos da Ciência, foram registrados ao longo do século. Dados os diferentes graus de complexidade e níveis de desenvolvimento de cada um dos ramos da Ciência, o progresso significativo foi, no entanto, necessariamente assimétrico e desigual. Notáveis pesquisas, experimentações e descobertas permitiram importante progresso na Matemática (Cálculo, Geometria), na Astronomia (Astronomia de posição, Sistema Solar) e na Física (Mecânica, Eletricidade, Calor), ciências com maior acervo herdado de séculos passados, devido às contribuições de eminentes cientistas, como, entre outros, Euler, Lagrange, Monge, Laplace, Bradley, Lalande, Herschel, Du Fay, os Bernoullis, Cavendish, Franklin, Coulomb, Volta e Thompson. A comparação do estado de conhecimento dessas "Ciências Exatas", ao final dos séculos XVII e XVIII, indicaria o notável progresso havido nesse período de tempo, graças à dedicação, ao esforço e à capacidade dos citados e muitos outros cientistas.

Deve-se registrar como altamente relevante, nesta apreciação geral da evolução da Ciência no Século das Luzes, o desenvolvimento ocorrido em outros setores, o que realça o grande significado do período nessa evolução do conhecimento e do espírito científico. A fundação da Química Moderna, por Lavoisier, como Ciência independente e autônoma, sujeita à metodologia científica e livre dos ranços alquímicos, seria um acontecimento de alto significado na História da Ciência. O extraordinário avanço no estudo analítico, descritivo e conceitual da História Natural, com o tratamento estritamente científico da Geologia, da Botânica e da

Zoologia (as duas últimas formariam a Biologia) e o pioneirismo no tratamento científico dos "fatos sociais", que redundaria na criação da Sociologia, no século XIX, são marcos de extrema importância no processo evolutivo da Ciência Moderna.

O cabedal de conhecimento acumulado e a expansão do campo da Ciência demonstram que os cientistas do século XVIII não se limitaram a conservar, a difundir e a aplicar automaticamente os estudos e as pesquisas herdados sobre os fenômenos naturais, mas que criaram e inovaram em todos os ramos científicos, tanto nas Ciências Exatas, quanto nas demais, que ajudaram a estruturar e a sistematizar. Esse desenvolvimento, altamente benéfico para a Ciência como um todo, se transformaria, ao longo do Século das Luzes, numa "fé" na Ciência para a compreensão dos fenômenos naturais, humanos e sociais, colocando-os a serviço da Humanidade.

Assim, o século XVIII ocupa um lugar central no processo evolutivo da Ciência, reexaminando suas bases conceituais, delineando seu amplo âmbito de atuação, libertando-a de preconceitos, colocando-a a serviço do Homem e da Sociedade e criando uma nova mentalidade, e desenvolvendo um espírito científico laico e positivo.

6.10.2.1 O Sistema Métrico Decimal

A medição de comprimentos, áreas, volumes e pesos é fundamental nas aplicações da Matemática, tanto em outras Ciências como a Física, a Astronomia, a Química e a Geografia quanto no comércio e na indústria. Até o final do século XVIII, havia uma miscelânea de sistemas de peso e medida não científicos, muito prejudicial ao progresso do conhecimento científico e das atividades comerciais, internas e internacionais, e manufatureiras. Era do interesse geral a criação de um sistema científico, preciso e simples que substituísse a situação caótica vigente. Várias tentativas haviam fracassado. Em 1670, o abade e matemático Gabriel Mouton, de Lyon, sugeriu como unidade de comprimento "um minuto da circunferência da Terra", multiplicando-se e dividindo-se pelo sistema decimal a unidade. Na Inglaterra, o matemático e arquiteto Christopher Wren, na mesma ocasião, propôs o comprimento de um pêndulo, que marcasse metades de segundos como unidade (cerca da metade do comprimento do cúbito, distância entre o ombro e a ponta do dedo esticado da mão). Em 1671, o astrônomo Jean Picard e Christiaan Huygens propuseram o comprimento de um pêndulo que marcasse segundos ao nível do mar a 45° de latitude como unidade de comprimento (cerca de seis milímetros menos que o atual metro). Em

1747, o geógrafo Charles Marie de La Condamine, após sua viagem ao Peru e à região amazônica, sugeriu o pêndulo de segundos no equador como unidade, e o astrônomo Charles Messier determinou, em 1775, com precisão, o comprimento de um pêndulo de segundos a 45° de latitude.

O interesse científico e econômico no assunto suscitou grandes debates, inclusive na Assembleia Nacional, na qual Talleyrand defendeu a necessidade de um sistema único de pesos e medidas. O tema foi encaminhado à Academia de Ciências, que criou uma Comissão para estudar o assunto e preparar um projeto. Em 1790, John Miller propôs, na Câmara dos Comuns, a adoção de um sistema uniforme para toda a Grã-Bretanha e, nos EUA, Thomas Jefferson defendeu um sistema único para o país, sugerindo como unidade o comprimento de um pêndulo de segundos a 58° de latitude (latitude média dos EUA na época).

Apesar dos tempos tumultuosos da Revolução Francesa, a Comissão de Pesos e Medidas, integrada por expoentes da Ciência, como Condorcet, Lavoisier, Lagrange, Laplace, Monge, Borda e outros, examinou duas alternativas principais para o comprimento básico: o de um pêndulo que marcasse segundos, ou o de um meridiano terrestre. Ao mesmo tempo, havia defensores, em maioria, do sistema decimal, enquanto alguns se pronunciaram pelo sistema duodecimal. Consta que a exatidão do cálculo com que Legendre e outros mediram o meridiano teria feito a Comissão pender para esta alternativa, com o "metro" sendo definido como a décima milionésima parte da distância entre o Equador e o Polo Norte. O sistema métrico estava praticamente pronto, em 1791, porém a situação caótica interna na França impediu o exame da matéria para sua aprovação. Em 1793, a Convenção Nacional suprimiu a Academia de Ciências (que seria integrada ao recém-criado Instituto de França), mas manteve a Comissão de Pesos e Medidas, agora sem Lavoisier, mas acrescida com a presença de Monge e Laplace. A deterioração da situação política ocasionaria novo atraso no exame da matéria. Os trabalhos finalmente foram concluídos em 1799, com a adoção oficial, pela França, em junho, durante o Diretório, do sistema métrico decimal de pesos e medidas, que seria obrigatório no país, a partir de 1837.

6.10.2.2 A Forma da Terra

Se a criação de um sistema métrico decimal, com o propósito de unificar os vários sistemas de pesos e medidas em vigor, é um exemplo da utilização da Ciência para fins práticos e úteis da Sociedade Humana

(comércio, indústria, transporte), a determinação exata da forma da Terra demonstra, igualmente, o objetivo da Ciência, no século XVIII, em esclarecer questões de interesse geral através do estudo, da observação, da pesquisa e da análise.

Segundo Newton, a velocidade de rotação da superfície da Terra aumentava constantemente, de zero nos polos até pouco mais de 1600 km por hora no equador. A força centrífuga cresceria proporcionalmente a esse aumento, e, assim, teoricamente, a Terra seria um esferoide achatado nos polos, plana ao nível dos mesmos e saliente no equador. Huygens era da mesma opinião. Numa expedição à Guiana Francesa, o astrônomo Jean Richer observou (1671) que o pêndulo oscilava mais devagar em Caiena que em Paris, de tal sorte que um relógio acertado na capital francesa atrasava cerca de dois minutos e meio por dia em Caiena, que se encontrava ao nível do mar. A conclusão de Richer foi a de que a força de gravidade seria aí mais fraca e, portanto, deveria estar Caiena mais afastada do centro da Terra. Newton concordou com tal conclusão, pois evidenciava que a superfície do mar estava mais longe do centro do Globo terrestre nas regiões equatoriais que nas regiões setentrionais. O astrônomo e Diretor do Observatório de Paris, Jean Dominique Cassini, que não aceitava a teoria copernicana heliocêntrica, e defendia a teoria de Descartes, de que a forma da Terra seria um esferoide achatado no equador e alongado nos polos, opôs-se firmemente à interpretação newtoniana. O assunto ficou pendente de um esclarecimento definitivo. O matemático Claude Clairaut escreveu, em 1748, a *Théorie de la figure de la Terre*, obra na qual estudava o formato de um corpo em rotação sob o efeito da gravidade e da força centrífuga e mostrava como determinar o raio da Terra pela medição da força da gravidade em diversos pontos do Globo, marcada pelo tempo de oscilação de um pêndulo.

Para dirimir a dúvida, a Academia de Ciências de Paris enviou duas expedições científicas em 1763: uma sob o comando do geógrafo Charles Marie de La Condamine (1701-1774) ao Peru, e outra sob a chefia do matemático Pierre Louis Maupertuis, com a participação de Clairaut, à Lapônia, com o propósito de, ao calcular a curvatura da superfície da Terra, por meio da medição de "um grau de meridiano terrestre", esclarecer o assunto. O resultado dessas medições (o grau do meridiano medido na Lapônia era bem mais longo que o calculado na França, pelo que a Terra era achatada nos polos) confirmaria, definitivamente, a Teoria da Gravitação Universal e o formato "geoide" da Terra[308].

[308] HANKINS, Thomas L. *Science and the Enlightenment.*

6.10.2.3 Ciência e Tecnologia

No século XVII, um grande número de notáveis filósofos naturais participou, direta e decisivamente, do extraordinário avanço tecnológico, por meio da invenção, inovação e aperfeiçoamento de uma série de instrumentos científicos de precisão e medição, necessários para o aprimoramento e exatidão da pesquisa. Galileu, Kepler, Oughtred, Gascoigne, Pascal, Torricelli, Guericke, Huygens, Leibniz, Amontons, Papin e Newton foram cientistas envolvidos diretamente no aprimoramento dos instrumentos utilizados em suas pesquisas. Artesãos, como Jensen (microscópio) e Lippershey (luneta), e engenheiros como Savery (bomba a vapor) e Jethro Tull (semeadeira) contribuíram, igualmente, com suas invenções, tanto para o avanço das pesquisas científicas, quanto para o desenvolvimento econômico e a posterior "revolução industrial". Ao término do século, os seis principais instrumentos científicos (microscópio, telescópio, barômetro, termômetro, relógio de precisão e bomba pneumática), além da balança aperfeiçoada e do micrômetro, já estavam em uso pela comunidade científica.

No século XVIII, o progresso tecnológico foi deixado principalmente ao trabalho, ao esforço e à capacidade inventiva de engenheiros, artesãos e práticos, que souberam inovar e aperfeiçoar os instrumentos desenvolvidos no século anterior. A participação dos cientistas na área tecnológica foi reduzida e indireta, devendo-se registrar, contudo, o grande interesse dos governos e das Academias (como as de Paris e Londres) pelo aperfeiçoamento de instrumentos e máquinas, inclusive pela encomenda de projetos e concessão de prêmios. Registre-se, igualmente, o reconhecimento das "artes" e "ofícios" no avanço da Ciência e no progresso da Sociedade, pela comunidade científica, como expresso na famosa *Enciclopédia*, organizada por Diderot e D'Alembert.

Exceções devem ser citadas, como a do astrônomo alemão Friedrich Wilhelm Herschel, que trabalhou pessoalmente no polimento das lentes e na montagem de seus telescópios, a do físico Gabriel Fahrenheit, que fabricou o primeiro termômetro de mercúrio de precisão, e a do químico mineralogista sueco Axel Cronstedt que, ao misturar uma chama com um fino jato de ar, obteve grande aumento do Calor; a incidência dessa chama na substância mineral causava mudança de cor da chama, o que permitia obter muitas informações; o "maçarico" passaria a ser, por essa razão, muito utilizado na Química Analítica, e seria o mais importante instrumento de Análise química até o aparecimento da Análise espectral, descoberta por Gustav Kirchhoff. As poucas exceções à regra geral devem ser mencionadas para consignar

que os cientistas do século XVIII se dedicavam exclusivamente à pesquisa e aos experimentos, deixando aos engenheiros e artesãos o aperfeiçoamento requerido dos instrumentos. John Harrison (1693-1776), de origem humilde e mecânico de profissão, ganhou o prêmio de 2 (duas) mil libras, instituído pelo Governo inglês, em 1713, para quem fabricasse um cronômetro que funcionasse com alta precisão a bordo de navios no oceano, de forma a permitir determinar exatamente sua longitude no mar. Harrison construiu, em 1728, cinco relógios que atendiam às especificações solicitadas, o que inauguraria uma era na navegação transoceânica. O relógio de Harrison só seria substituído, no século XX, pelo novo sistema de rádio-comunicação.

Outro exemplo é o de John Dollond (1706-1761), que se notabilizou pela fabricação de lentes sem aberração cromática (1733), contrariando as teorias de Newton, o que lhe valeria, em 1758, o ingresso como membro na Sociedade Real e o título, póstumo, de óptico do rei George III.

Paralelamente a esse desenvolvimento tecnológico, devem ser registrados, igualmente, os avanços na siderurgia, com o aperfeiçoamento dos altos fornos, a utilização do coque e a invenção do método *puddlage* (1787), por Henry Cort (1740-1800). No campo da Química experimental, o cloro, o oxigênio e o hidrogênio foram isolados, e a soda, origem da poderosa indústria do álcali artificial, foi obtida (patente, em 1791, do processo Leblanc) por Nicolas Leblanc (1742-1806).

Assim, o desenvolvimento, o aperfeiçoamento e a inovação das máquinas no século XVIII foram devido à decisiva participação e contribuição de engenheiros, mecânicos e artesãos, sem a participação direta e pessoal dos cientistas. As profundas transformações nos meios de produção agrícola, industrial e energética, centrais na "revolução industrial", que se iniciaria na Grã-Bretanha, na segunda metade do século, não tiveram, portanto, envolvimento direto dos meios científicos da época.

6.11 Matemática

Após a invenção da Geometria analítica por René Descartes, o desenvolvimento do conhecimento matemático culminaria com as obras de Isaac Newton e Gottfried Wilhelm Leibniz sobre o Cálculo integral e diferencial, invenção que dominaria os estudos matemáticos no século XVIII.

O extraordinário desenvolvimento da Matemática no século XVII foi devido, em grande parte, à necessidade da Mecânica e da Astronomia, únicas disciplinas das Ciências Exatas com algum grau de coerência sistemática e com apoio matemático para desvendar e compreender o

Universo e os fenômenos naturais. Os notáveis avanços ocorridos em diversos ramos (Álgebra, Geometria, Trigonometria, Logaritmo, Notação, Teoria dos Números, Teoria das Probabilidades, Séries Infinitas) foram resultado da contribuição de matemáticos, em elevado número, que, em diversos países europeus, formularam teorias e teoremas, inventaram métodos e ampliaram seu campo de atuação.

Dada a estreita vinculação da Matemática com a Física e a Astronomia, vários matemáticos dessa época, como os Bernoulli, Euler, Clairaut, Maupertuis, D'Alembert, Monge, Lagrange, Laplace e Legendre, entre outros, contribuíram, igualmente, para o desenvolvimento desses ramos da Ciência[309].

Sem procurar estabelecer uma comparação entre as contribuições dos matemáticos dos séculos XVII e XVIII, para determinar qual foi o período mais fértil e profícuo, não há dúvida de que, apesar de ter sido importante a herança recebida, trabalhos pioneiros, pesquisas inovadoras e criações imaginativas, demonstram a valiosa e adicional contribuição do "Século das Luzes" à evolução da Matemática. O período não pode ser considerado, portanto, como de transição para o século XIX, ou de estagnação, uma vez que importantes realizações, em parte determinadas pelos interesses da Mecânica e da Astronomia, como no passado, se inscrevem como marcos significativos dessa evolução.

Ao se examinar a Matemática no século XVIII, deve-se ter presente que, ao contrário do passado recente, dois países apenas (Suíça e França) sobressairiam nessa evolução. A Suíça, com o clã Bernoulli, e, depois, com Euler, e a França, nos últimos decênios do século, com os chamados "matemáticos da Revolução" (Lagrange, Legendre, Monge, Laplace, Condorcet e Carnot), dariam as principais contribuições, em especial na Análise (Cálculo) e na Geometria. Euler e Lagrange são reputados como os dois maiores matemáticos desse século. Outros importantes centros no século anterior, como a Itália, a Inglaterra, a Escócia, a Holanda e a Alemanha contribuiriam, também, para o desenvolvimento da Matemática, porém sem o extraordinário brilho de épocas passadas. A Inglaterra e a Escócia, que no século XVII ocuparam posição de vanguarda, perderiam esse lugar privilegiado, em vista do posicionamento de seus matemáticos de se isolarem dos estudos e pesquisas em curso no continente europeu[310].

Academias, governos e escolas especializadas se envolveriam no patrocínio do estudo e da pesquisa da Matemática, em especial na França, Rússia e Alemanha, sendo responsáveis diretos pelo grande

[309] GARBI, Gilberto G. *A Rainha das Ciências.*
[310] EVES, Howard. *Introdução à História da Matemática.*

avanço realizado, inclusive, pela publicação e divulgação das obras, bem como por premiações e outros benefícios aos seus membros e associados. As universidades, úteis no ensino, não participariam, praticamente, do esforço inovador e criativo, ainda que tenham sido centros de excelência na Inglaterra, Países Baixos e Suíça, onde seus matemáticos ilustres ministravam aulas, mas estudavam e escreviam fora do seu âmbito.

Para fins de exposição, pode-se dividir a evolução da Matemática no século XVIII em três épocas, com base nessas características mencionadas: a primeira, dominada pelo clã suíço dos Bernouilli; a segunda, em meados do século, por Euler; e a terceira, no final do período, pelos matemáticos franceses.

6.11.1 Época de Bernoulli

Da primeira época, os expoentes foram os irmãos Bernoulli, Jacob (1654-1705) e Johann (1664-1748); os filhos deste, Nicolau (1695-1726) e Daniel (1700-1782), e o sobrinho Nicolau (1687-1759). O franco-inglês Abraham de Moivre, os ingleses Roger Cotes, James Stirling, Brook Taylor, o suíço Gabriel Cramer, o escocês Colin Maclaurin, o alemão Ehrenfried Walter von Tschirnhaus (1651-1708), os franceses Michel Rolle e Pierre Varignon, e os italianos Giovanni Ceva, Girolamo Saccheri, Guido Grandi, Jacopo Riccati e Giulio Carlo Fagnano se sobressaíram por suas contribuições nos diversos ramos da Matemática.

O primeiro importante matemático da família Bernoulli, da Basileia, foi Jacob (1654-1705)[311] que, inicialmente destinado ao estudo da Teologia, desafiou a vontade paterna e se dedicou à Matemática. Estudioso dos "infinitésimos", interessou-se pelas obras de Wallis, Barrow e Leibniz, mantendo, desde cedo, com esse último, extensa correspondência e cooperação, a quem propôs, em 1680, o termo "integral" para o cálculo recém-criado pelo filósofo e matemático alemão. Publicou Jacob Bernoulli vários artigos na *Acta Eruditorum* de Leipzig, e, com o prestígio adquirido, foi convidado, e aceitou o convite, para a cátedra de Matemática da Universidade da Basileia, onde ensinou até 1705, ano de sua morte.

Ensinou Matemática, também, a seu irmão Johann (1667-1748), 13 anos mais moço, apesar de já ter ingressado, por imposição paterna, na Universidade da Basileia para se formar em Medicina. Graças a seu excepcional talento, foi nomeado professor, em 1695, em Groningen, sucedendo a seu irmão Jacob, em 1705, na Universidade da Basileia, onde permaneceu por 45 anos. Apesar de terem tido um relacionamento difícil

[311] BOYER, Carl. *História da Matemática.*

e problemático, houve uma longa e ampla cooperação entre os dois irmãos no estudo de vários assuntos.

A relação da contribuição de Jacob Bernoulli é longa e diversificada[312]: com seu irmão Johann, inventou o "cálculo das variações", ao encontrar a solução para o célebre problema da "braquistócrona", isto é, o de determinar qual a trajetória de uma partícula que, sob a ação de seu peso, passa de um ponto inicial a um final num intervalo de tempo mínimo. A curva identificada foi a "cicloide"; seu fascínio por curva e cálculo levou-o a estudar a equação de várias delas, como a "catenária" (curva plana que representa a forma de equilíbrio de um fio homogêneo, flexível, pesado, suspenso por suas extremidades a partir de dois pontos fixos), a "tratriz" (involuta da catenária), sendo a "involuta" a curva que se faz sobre a superfície tangente de outra curva e intercepta ortogonalmente as retas geradoras, a "tautócrona" (trajetória em um plano vertical, tal que um ponto, caindo de qualquer altura sobre ela, gasta sempre o mesmo tempo para chegar ao ponto mais baixo), cuja solução também é a "cicloide", a "lemniscata", em 1694, descrita como curva semelhante a um oito ou a uma fita com laço (*lemniscus*), a descoberta da "isócrona" (1690), que requeria equação de uma curva plana, ao longo da qual um objeto cairia com velocidade vertical uniforme. Jacob mostrou que a curva era uma "parábola semicúbica", e a "espiral logarítmica", cuja beleza levou-o a pedir que fosse gravada em seu túmulo, com a inscrição *Edeam mutata resurgo* (Embora modificada, reapareço igual). Interessou-se pela Teoria das Probabilidades, tendo escrito importante obra a respeito, *Ars Conjectandi* (*Arte de Conjecturar*), que seria publicada postumamente, em 1713. Nessa obra, tratou também de "permutações e combinações" e elaborou o "teorema de Bernoulli" sobre "distribuições binomiais"; propôs e discutiu o problema das "figuras isoperimétricas" (caminhos planos fechados de uma dada espécie e perímetro fixo que abarcam uma área máxima); os "números de Bernoulli" e os "polinômios de Bernoulli", de interesse da teoria dos números; o "teorema de Bernoulli" da estatística. A obra completa de Jacob Bernoulli seria editada em 1744 como *Opera Jacobi Bernoulli*.

Até o início do século XVIII, poucos entendiam corretamente o Cálculo infinitesimal. Na Inglaterra, o método das fluxões, de Newton, foi adotado, mas no continente europeu prevaleceu o método de Leibniz para o Cálculo diferencial e integral, por ser mais simples e claro[313]. Essa diferença de métodos seria causa de célebre e séria controvérsia entre Newton e Leibniz, que teriam importantes e devotados seguidores, mas

[312] EVES, Howard. *Introdução à História da Matemática.*
[313] TATON, René. *La Science Moderne.*

que, ao final, o método leibniziano viria a ser adotado universalmente. Os Bernoullis seriam grandes defensores e divulgadores do método do matemático alemão, responsáveis diretos por sua eventual aceitação na Europa. Johann Bernoulli, em 1691/92, escreveu dois pequenos livros didáticos sobre Cálculo, tendo se envolvido pessoalmente, em 1713, na polêmica entre os dois métodos de cálculo.

Johann conheceu, em Paris, um jovem aristocrata, Guillaume François Antoine, marquês de L'Hôpital (1661-1704), interessado e competente na Matemática, conforme ilustram seu clássico *Traité Analytique des Sections Coniques*, de Geometria analítica, publicado postumamente em 1707, e a solução dada, como Newton, Leibniz e Jacob/ Johann Bernoulli, ao problema da "braquistócrona". L´Hôpital pediu a Johann que lhe ensinasse Cálculo, e que, em troca de salário regular, lhe enviasse suas descobertas matemáticas para serem usadas pelo Marquês como lhe aprouvesse.

As importantes contribuições de Bernoulli (1694) passariam a ser conhecidas como "regra de L'Hôpital sobre formas indeterminadas", que seriam incorporadas no primeiro livro didático sobre Cálculo diferencial, intitulado *Analyse des Infiniment Petits*, publicado em Paris, em 1696. O autor reconheceu a contribuição de Bernoulli na obra, mas hoje se sabe que, na realidade, o livro reproduzia, com poucas modificações, o trabalho de Bernoulli, enviado por cartas a L'Hôpital. Esse livro, cuja influência dominaria todo o século XVIII, seria o grande divulgador do "Cálculo leibniziano" no continente europeu, porquanto "as fórmulas diferenciais básicas para funções algébricas são obtidas à maneira de Leibniz, e são feitas aplicações a tangentes, máximos e mínimos, pontos de inflexão, curvatura, cáusticas e formas indeterminadas"[314]. O livro de Bernoulli sobre Cálculo integral apareceu somente em 1742, em sua *Opera Omnia*, enquanto a obra sobre Cálculo diferencial só foi impressa em 1924. Bernoulli ensinou Cálculo também a Pierre Varignon. Em 1705, substituiu seu irmão na cátedra de Matemática da Universidade da Basileia.

Apesar de ciumento, competitivo, cáustico e irascível, e de ter tido graves problemas de relacionamento pessoal e intelectual, inclusive com seu irmão Jacob e seu filho Daniel, manteve Johann Bernoulli profícua colaboração com Leibniz e com seus familiares (irmãos, filhos, sobrinhos). Escreveu prolificamente sobre aspectos avançados da Análise – isócrona, sólidos de resistência mínima, catenária, tratriz, trajetórias, curvas cáusticas, problemas isoperimétricos, Trigonometria analítica, Geometria diferencial (encontrou a equação das geodésicas sobre uma superfície),

314 BOYER, Carl B. *História da Matemática.*

Cálculo exponencial e com seu irmão Jacob inventou o "Cálculo de variações".

Além da Matemática, interessou-se Johann por outras áreas científicas. Escreveu, no campo da Óptica, sobre fenômenos relacionados com reflexão e refração e, em Mecânica, escreveu sobre energia cinética e alegou ter escrito, em 1732, *Hydraulica*, para ter prioridade sobre o estudo de 1734, de seu filho Daniel, sobre *Hydrodynamica*, mas publicado em 1738.

Nicolaus Bernoulli (1687-1759), sobrinho de Jacob e de Johann Bernoulli, foi professor de Matemática em Pádua (1716), na cátedra de Galileu, e em 1722, transferiu-se para a Basileia, onde ocupou a cadeira de Matemática na Universidade local, e depois, a de Lógica. Manteve correspondência com Leibniz e Euler. Trabalhou em Geometria e equações diferenciais, mas se tornou conhecido pelo famoso problema em Teoria das Probabilidades, chamado de "paradoxo de Petersburgo", por ter aparecido na publicação *Comentarii*, da Academia dessa cidade russa.

Os três filhos de Johann Bernoulli se dedicaram à Matemática, mantendo a tradição familiar. O mais velho, Nicolaus (1695-1726), ocupou a cátedra de Matemática da Academia de São Petersburgo por apenas oito meses, devido à sua morte prematura, por afogamento. Seu talento precoce ficou evidenciado em seus trabalhos sobre curvas, equações diferenciais e Probabilidades. O filho mais moço, Johann II Bernoulli (1710-1796), foi professor de Matemática na Universidade da Basileia, tendo se interessado pela teoria matemática do Calor e da luz.

Daniel Bernoulli (1700-1782)[315] foi o mais brilhante da segunda geração dos Bernoullis, com interesse diversificado: Matemática, Mecânica, Astronomia, Biologia, Medicina, Oceanografia e Filosofia. Estudou Medicina, Lógica e Filosofia nas Universidades de Heidelberg, Estrasburgo e Basileia, mas, como os demais membros da família, tinha um interesse especial pela Matemática. Em 1725, estabeleceu-se em São Petersburgo, acompanhando seu irmão mais velho, Nicolaus; no ano seguinte, o sucederia na cátedra da Academia dessa cidade. Além de conferências nos campos da Biologia, Mecânica e Física, pesquisou as propriedades das cordas vibrantes e se dedicou à Teoria das Probabilidades. De retorno a Basileia, foi professor de Anatomia e Botânica na Universidade. Em 1738, publicou a obra *Hydrodynamica*, na qual examinou as propriedades básicas no fluxo do líquido, em particular, a pressão, a densidade e a velocidade, e estabeleceu suas relações fundamentais; formulou o chamado "princípio de Bernoulli", pelo qual a pressão num líquido decresce à medida que a velocidade aumenta; estabeleceu, ainda, nessa obra, a base da teoria

[315] STRUIK, Dirk. *História Concisa das Matemáticas.*

cinética dos gases e do Calor pelo impacto das moléculas na superfície. De 1725 a 1749, ganhou Daniel Bernoulli dez prêmios da Academia de Ciências de Paris por seus trabalhos em órbitas planetárias, gravidade, marés, Magnetismo, correntes marítimas.

Johann Bernoulli (1744-1807), filho de Johann II, foi professor de Matemática da Academia de Berlim, tendo escrito sobre Astronomia, Teoria das Probabilidades, decimais recorrentes e equações indeterminadas. Outros Bernoullis, menos importantes, se dedicaram, igualmente, no século XVIII, ao ensino e à pesquisa na área da Matemática.

Nessa primeira época da evolução da Matemática Moderna, outras importantes contribuições, em especial na Geometria, no Cálculo (Análise) e na Teoria das Probabilidades, mostram o estágio de desenvolvimento da pesquisa matemática em outros centros científicos, como a Grã-Bretanha, a França e a Itália.

O huguenote francês Abraham de Moivre (1667-1754), pioneiro no desenvolvimento da Geometria analítica e da Trigonometria Analítica, e estudioso da Teoria das Probabilidades[316], foi preso, com a revogação do Édito de Nantes, de 1685. Libertado, refugiou-se na Inglaterra, onde se estabeleceu. Fez sólida amizade com Newton e Halley, mas viveu modestamente, sustentando-se com aulas particulares de Matemática. O grande aumento do negócio de seguros no século XVIII atraiu muitos matemáticos para o estudo da Teoria das Probabilidades, que se procurou aplicar até a situações que envolviam julgamento humano, como foi o caso dos estudos de Condorcet. A Teoria das Probabilidades se iniciara com a troca de cartas, em 1654, entre Fermat e Pascal, seguida da obra *De Ratiociniis in Ludo Aleae*, de 1657, de Christiaan Huygens, e *Ars Conjectandi*, (1713), de Jacob Bernoulli. Em 1711, Moivre publicou no *Philosophical Transactions* um longo estudo sobre as leis do acaso, expandindo-o, em 1718, na obra *The Doctrine of Chances*, na qual formulou o princípio de que a probabilidade de um evento composto é o produto das probabilidades dos componentes. Um segundo estudo sobre Probabilidades seria publicado em 1730, com o título de *Miscellanea Analytica*, com contribuições também a séries recorrentes e Trigonometria analítica. Em *Annuities upon Lives* foi precursor da Matemática atuarial. Moivre trabalhou também para completar partes do trabalho de Roger Cotes sobre a integração de frações racionais por decomposições em frações parciais.

Roger Cotes (1682-1716), falecido prematuramente, deixou obra significativa, mas incompleta, que seria publicada em 1717, sob o título de *Harmonia Mensurarum*, que trata, fundamentalmente, da integração de frações decimais; menciona, por primeira vez, a periodicidade das funções

[316] EVES, Howard. *Introdução à História da Matemática.*

trigonométricas, aparecendo impressos os ciclos de tangente e de secante, e dá um tratamento completo de cálculo aplicado à função logarítmica e funções circulares[317].

James Stirling (1692-1770), amigo e defensor de Newton, publicou, em 1717, o *Lineae Tertii Ordinis Neutoniae*, no qual completou a classificação das curvas cúbicas feitas por Newton, em 1704, acrescentando, inclusive, algumas demonstrações que faltavam no *Enumeratio Tertiis Ordinis*. Stirling, como os demais matemáticos britânicos, foi um defensor do método das fluxões para o Cálculo infinitesimal.

Os trabalhos de Newton e Stirling sobre curvas planas foram continuados pelo escocês Colin Maclaurin (1698-1746), talvez o mais importante matemático britânico da geração posterior a Newton. Professor em Aberdeen aos 19 anos, e da Universidade de Edimburgo aos 25, Maclaurin publicou, em 1720, dois tratados sobre curvas, a *Geometrica Integral* e a *De Linearum Geometricarum Proprietatibus*; no primeiro, estudou os resultados de Newton e Stirling sobre cônicas, cúbicas e curvas algébricas de grau superior. Apesar desses dois importantes trabalhos em Geometria, Maclaurin seria mais conhecido pela famosa "série de Maclaurin", que apareceu em seu *Treatise of Fluxions*, de 1742, mas que, na realidade, se limita a um caso especial da "série de Taylor", publicada em 1715 no seu *Methodus Incrementorum Directa et Inversa*. O *Treatise* é considerado como a primeira exposição lógica e sistemática do método das fluxões, tendo sido escrita como réplica aos ataques do bispo George Berkeley aos princípios do Cálculo em *The Analyst* (1734). Por volta de 1729, já conhecia Maclaurin a regra de resolução de um sistema de equações lineares, que constaria de sua obra póstuma, *Treatise of Algebra*, de 1748; tal regra, contudo, viria a ser conhecida como a "regra de Cramer", publicada pelo matemático suíço em 1750.

Brook Taylor (1683-1731), graduado pela Universidade de Cambridge e secretário da Sociedade Real, de 1714 a 1718, tinha um especial interesse por "perspectiva", tendo publicado sobre o assunto um livro, em 1715 (*Perspectiva Linear*), e outro, em 1719. Sua série, constante do *Methodus Incrementarum*, base do Cálculo diferencial, geraria grande controvérsia com Jacob Bernoulli para esclarecer sua paternidade.

O suíço Gabriel Cramer (1704-1752) publicou, em 1750, a *Introduction à l'Analyse des Lignes Courbes Algébriques*, com a famosa "regra de Cramer" para resolver equações simultâneas por determinantes, independentemente do trabalho de Maclaurin. A opção dos matemáticos pela notação superior de Cramer explica o fato de tal regra ser reconhecida como de sua autoria[318].

[317] BOYER, Carl. *História da Matemática.*
[318] EVES, Howard. *Introdução à História da Matemática.*

Jacob Hermann (1678-1733), discípulo de Jacob Bernoulli e professor de Matemática nas Universidades de Pádua, Frankfurt, São Petersburgo e Basileia, em seu *Comentarii Academiae Petropolitanae* (1729-33) fez importantes contribuições à Geometria analítica no espaço e a coordenadas polares, continuando o trabalho dos irmãos Jacob e Johann Bernoulli. Hermann se fizera notar, pela comunidade científica, em 1701, quando apresentou brilhante defesa de Leibniz às críticas do geômetra holandês Bernard Nieuwentijt ao Cálculo integral e diferencial.

No início do século XVIII, houve objeções de matemáticos, na Inglaterra, na Alemanha, na Holanda, na Itália, na França e em outros países, aos novos métodos infinitesimais apresentados por L'Hôpital, suscitando debates nas Academias e polêmicas acaloradas entre defensores e opositores do método; a maioria dos críticos era constituída de admiradores da Geometria sintética da Antiguidade[319]. Na França, o maior crítico foi Michel Rolle (1652-1719), membro da Academia de Ciências de Paris e autor de publicações sobre Geometria e Álgebra, que chegou a descrever o Cálculo como uma falácia engenhosa, que se baseava em raciocínio inconsistente e que levava a resultados errados. Para vencer a resistência, o matemático e físico Pierre Varignon (1654-1722) procurou mostrar, indiretamente, que os métodos infinitesimais podiam ser postos de acordo com a Geometria de Euclides. Após o convencimento de Rolle da validade essencial da nova Análise, o Cálculo integral e diferencial não teria mais obstáculos a vencer na França para sua aceitação generalizada. Sobre o tema, Varignon escreveria *Eclaircissements sur l'Analyse des Infiniments Petit*, publicado postumamente, em 1725.

Enquanto os Bernoullis e outros contribuíam decisivamente, nessa época, para os avanços no Cálculo, na Geometria analítica e na Teoria das Probabilidades, os matemáticos italianos mostraram preferência pela Geometria, mas mesmo nesse ramo não fizeram nenhuma descoberta fundamental. As obras dos Bernoullis eram conhecidas na Itália, tanto que o conde Giulio Carlo Fagnano (1682-1766) continuou o trabalho sobre a *lemniscata*, mostrando, em 1717/18, que a retificação da curva levava a uma integral elíptica. Jacopo Riccati (1676-1754) tornou conhecida na Itália a obra de Newton, tendo estudado a equação que tem hoje seu nome. O jesuíta Girolamo Saccheri (1667-1733), professor de Teologia, Lógica e Matemática, tentou provar o postulado das paralelas, em seu *Euclides ab Omni Naevo Vindicatus* (*Euclides com toda falha retirada*), de 1733, com aplicação do método de *reductio ad absurdum* ao problema, tendo estado bem próximo de criar uma Geometria não euclidiana. Saccheri escrevera, também, *Quaesita Geometrica* (1696). Outro nome a ser mencionado é o de Guido Grandi (1671-1742) lembrado nas "curvas

[319] BOYER, Carl. *História da Matemática.*

em pétala de rosa", comuns em coordenadas polares. São chamadas "rosas de Grandi", em reconhecimento ao estudo que fez sobre elas[320].

6.11.2 Época de Euler

A segunda época do período foi dominada pelo extraordinário Leonhard Euler (1707-1783); dela, participaram, igualmente, os franceses Pierre Louis Maupertuis, Alexis Claude Clairaut, Jean Le Rond D'Alembert e Etienne Bézout; o suíço-alemão Johann Heinrich Lambert e a italiana Maria Gaetana Agnesi.

Leonhard Euler (1707-1783), nascido na Basileia, terra dos Bernoulli, é considerado, por muitos, como o mais brilhante gênio da Matemática pura e aplicada do século XVIII. Apesar de seu pai destiná-lo à carreira religiosa, ensinou-lhe rudimentos de Matemática e incentivou-o a adquirir uma cultura ampla, que incluiu também Teologia, Medicina, Astronomia, Óptica, Mecânica e línguas orientais. Estudou Matemática com Johann Bernoulli, tornando-se amigo de seus dois filhos, Nicolaus e Daniel. Desde cedo, sua capacidade intelectual foi reconhecida nos meios científicos. Em 1724, partilhou, com Daniel Bernoulli e Colin Maclaurin, prêmio da Academia de Ciências de Paris, por trabalho sobre marés. Ao longo de sua vida, Euler receberia 12 vezes o cobiçado prêmio bienal da Academia de Paris.

Convidado pela Tzarina Catarina I, chegou a São Petersburgo, em 1727, para ocupar a vaga em Medicina na Academia de Ciências, onde já se encontrava Daniel Bernoulli, que sucedera seu irmão Nicolaus na cátedra de Matemática. A morte, nesse mesmo ano, da Tzarina, prejudicou, temporariamente, as atividades da Academia, que destinou, em 1730, a Euler, a cadeira de Filosofia Natural. Com a partida de Daniel Bernoulli para a Basileia, em 1733, tornou-se Euler, aos 26 anos de idade, o principal matemático da Academia russa, e diretor do Departamento correspondente. Em 1735, perdeu a visão do olho direito, mas continuou em plena atividade, permanecendo em São Petersburgo até 1741. Nesse período, bem como quando esteve em Berlim, contribuiria com um grande número de artigos para a revista *Comentarii Academiae Scientiarum Imperialis Petropolitanae*.

Euler, dotado de excepcional talento matemático, de excelente memória e de grande facilidade de redação, escrevendo, inclusive, em latim, alemão e francês, foi o mais prolífico matemático, com uma surpreendente produtividade calculada em 530 artigos, com uma lista bibliográfica de 886 itens e uma pesquisa matemática média da ordem de 800 páginas por ano

[320] TATON, René. *La Science Moderne.*

durante toda sua vida. Avalia-se que a coleção de sua obra, a ser publicada com o patrocínio do Governo suíço, deverá chegar a 75 volumes[321]. Talvez pelo tempo dedicado ao estudo, à grande produção literária e à intensa atividade nos centros científicos, não tenha podido Euler exercer o cargo de professor.

Em 1741, aceitou o convite de Frederico, o Grande, para fazer parte da Academia de Berlim, onde permaneceria por 25 anos; continuaria Euler a receber pensão da Academia russa, para a qual contribuiria com artigos para publicação na revista *Comentarii*. Esse período foi bastante fértil e importante, pois, além de produzir artigos e ensaios, escreveu *Introductio in Analysin Infinitorum* (1748), obra fundamental sobre Análise, e *Institutiones Calculi Diferentialis* (1755). Em 1744, surgiu o *Methodus Inveniendi Lineas Curvas Maximi Minimive Proprietate Gaudentes*, primeira exposição sobre o cálculo das variações, em que apareciam as "equações de Euler".

Sobre a *Introductio*, comentou o já citado Boyer que

> Euler fez pela Análise de Newton e Leibniz o que Euclides fizera pela Geometria de Eudoxo e Teaetatus, ou o que Viète fizera pela Álgebra de Al-Kwarizmi e Cardano... o Cálculo diferencial e o método dos fluxos tornam-se parte de um ramo mais geral da Matemática, que a partir daí é chamado de Análise - estudo de processos infinitos -

e continua

> se os antigos Os Elementos constituem a pedra angular da Geometria e Al Jabr wa'l musqaballah, medieval, a pedra fundamental da Álgebra, então a *Introductio* de Euler pode ser considerada como chave de abóbada da Análise... Dessa época em diante, a ideia de 'função' tornou-se fundamental na Análise ... As funções transcendentes elementares – trigonométricas, logarítmicas, trigonométrica inversa e exponencial – eram escritas da mesma forma que hoje... Além disso, Euler foi dos primeiros a tratar dos logaritmos como expoentes, do modo hoje tão familiar[322].

O primeiro volume do *Introductio* trata, do início ao fim, de "processos infinitos – produtos infinitos e frações contínuas –, bem como estuda inúmeras "séries infinitas".

Na *Institutiones Calculi Diferentialis*, Euler examinou equações diferenciais "com a distinção entre equações lineares, exatas e homogêneas

[321] EVES, Howard. *Introdução à História da Matemática.*
[322] BOYER, Carl. *História da Matemática.*

e é ainda o modelo de nossos textos elementares sobre este assunto"[323]. Já na Rússia, Euler completaria seus estudos sobre "Análise" com o *Institutiones Calculi Integralis* (1768/74).

O prestígio, a fama e o reconhecimento internacional ao talento excepcional de Leonhard Euler seriam confirmados quando, pelo final de sua estada na Prússia, o Imperador Frederico II convidou D'Alembert para presidir a Academia de Ciências de Berlim, o que ele recusou, argumentando ser impróprio colocar contemporâneos em posição de superioridade acadêmica sobre o grande Euler[324].

Convidado por Catarina, a Grande, retornou Euler à Rússia, em 1766, onde viveria seus últimos 17 anos, falecendo subitamente, em São Petersburgo, em 1783, aos 76 anos de idade. Devido à catarata, viria a perder totalmente a visão, em 1771, o que não o impediu de continuar trabalhando intensamente, ditando para seus filhos.

Quando na Rússia, escreveu o *Institutiones Calculi Integralis* (1768/74) e publicou, em 1771, o *Institutiones Calculis Algebricorum*, no qual sistematizou o estudo da Álgebra, além de um grande número de ensaios, artigos e monografias sobre temas variados de Matemática.

Da imensa contribuição de Euler ao desenvolvimento da Matemática não devem ser esquecidas as notações matemáticas (simbologia, terminologia e ideias) introduzidas na Aritmética, Geometria, Álgebra, Trigonometria e Análise, em uso até hoje, como "f (x)" para funções, "e" para a base dos logaritmos naturais, "a,b,c" para os lados de um triângulo, "A,B,C" para os ângulos de um triângulo, "s" para o semiperímetro do triângulo, "r" para o inraio de um triângulo, "R" para o circunraio de um triângulo, "Σ" para somatórios[325]. O prestígio de seus textos resolveu questões controversas sobre notações na Álgebra e no Cálculo infinitesimal; Lagrange, Laplace e Gauss conheceram e seguiram Euler em todos os seus trabalhos, como registrou o já mencionado Dirk Struik em *História Concisa das Matemáticas*. Contribuiu para a Teoria dos Números com a descoberta da "lei da reciprocidade para resíduos quadráticos", e para a Geometria com o teorema que relaciona o número de vértices, arestas e faces de um poliedro fechado, à linha de Euler no triângulo, às curvas de amplitude constante e à constante de Euler.

O interesse e o conhecimento de Euler não se limitavam à Matemática pura. Suas contribuições à Astronomia, Mecânica, Óptica, Hidráulica, teoria musical, construção naval e questões de artilharia são exemplos de sua capacidade no terreno da Matemática aplicada. No

[323] STRUIK, Dirk. *História Concisa das Matemáticas.*
[324] EVES, Howard. *Introdução à História da Matemática.*
[325] EVES, Howard. *Introdução à História da Matemática.*

campo da Astronomia, escreveu *Theoria Motus Planetarum et Cometarum*, de 1774, sobre Mecânica Celeste, e um estudo, em 1738, sobre a atração de elipsoides, e contribuiu para a teoria lunar, importante para o problema dos três corpos e do cálculo da longitude. Estudou e escreveu sobre as marés, hidráulica, construção de navios e artilharia. Em 1736, publicou Euler a *Mechanica, sive Motus Scientia Analytice Exposita*, primeiro texto em que a dinâmica newtoniana foi desenvolvida com métodos analíticos, e, em 1765, a *Theoria Motus Corporum Solidorum seu Rigidorum*, na qual a mecânica dos corpos sólidos foi tratada igualmente com métodos analíticos. Em 1739, elaborou uma nova teoria musical, e entre 1769 e 1771 surgiram três volumes de uma *Dióptrica* com uma teoria da passagem de raios de luz através de um sistema de lentes[326].

Apesar de Euler ter sido o centro da cena matemática nesta época sob exame, a França produziu importantes matemáticos que contribuíram para o desenvolvimento da Matemática pura, mas se notabilizaram, principalmente, por seus trabalhos de grande originalidade na Matemática aplicada, especialmente na Astronomia e Mecânica.

O geômetra e astrônomo Pierre Louis Moreau de Maupertuis (1698-1759), membro da Academia de Ciências de Paris desde 1731, da Sociedade Real de Londres e da Academia de Berlim (1741, Presidente de 1745 a 1753), foi o grande divulgador da obra de Newton na França, após tê-la estudado quando de sua estada em Londres. Em 1732, escreveu *Discurso sobre as diversas formas dos astros*, e, em 1736, chefiou a famosa expedição da Academia de Ciências à Lapônia (Torme, Suécia), para medir "o comprimento de um grau do meridiano", o que viria a provar o acerto da teoria de Newton sobre a forma esferoide, achatada nos polos, da Terra. A esse respeito, D'Alembert escreveu o seguinte comentário no *Discurso Preliminar* da Enciclopédia:

> Maupertuis foi o primeiro que ousou, entre nós, declarar-se abertamente newtoniano. Julgou que podia ser um bom cidadão sem adotar cegamente a Física de seu país, e, para atacar essa Física, teve de ter uma coragem pela qual devemos aplaudi-lo[327].

Em Berlim, enunciou, em 1744, seu famoso "princípio de menor ação" em Mecânica, publicado no *Ensaio de Cosmologia*, de 1750, pelo qual "em todas as mudanças que ocorrem no Universo, a soma dos produtos de cada corpo multiplicado pela distância que percorre e pela velocidade

---

326 STRUIK, Dirk. *História Concisa das Matemáticas.*

327 D'ALEMBERT, Jean. *Discurso Preliminar.*

com que se move é a menor possível". A formulação do princípio não foi clara, e foi infeliz, por ter definido "ação" como a quantidade "mvs" (massa, velocidade, distância) e, ao qual, se seguia uma demonstração geométrica da existência de Deus. Acusado de haver plagiado Leibniz e de ter introduzido noção metafísica ao assunto, desencadeou-se grande polêmica nos meios científicos, que forçaria Maupertuis a se retirar, em 1753, de Berlim, sendo acolhido pelos Bernoulli na Basileia, onde faleceu, em 1759. A noção de "menor ação", com outra formulação e em outras bases, seria acolhida por Euler e Lagrange, entre outros. Maupertuis escreveu, ainda, no campo da Biologia, o *Système de la Nature* (1751), em que trata de hereditariedade.

A precocidade de Aléxis Claude Clairaut (1713-1765) suscita, até hoje, admiração. Aos dez anos, lia L'Hôpital sobre cônicas e Cálculo; aos 13, leu, para a Academia de Ciências, um artigo sobre Geometria (curvas de terceira ordem); pouco depois, escreveu artigo sobre Geometria diferencial de curvas reversas no espaço; e aos 18, com dispensa real, por motivo de idade, ingressaria na Academia. Em 1736, acompanhou Maupertuis à Lapônia, escrevendo, em 1743, a *Théorie de la Figure de la Terre tirée des Principes de l'Hydrostatique*, na qual formulou equações de movimento de corpos mergulhados em fluidos, sendo, por isto, considerado, juntamente com Daniel Bernoulli, Euler e D'Alembert, um dos fundadores da Hidrodinâmica. Em 1741, escreveu *Elements de Géométrie*, e em 1746, *Elements d'Algèbre*, livros de sistematização e divulgação desses dois ramos da Matemática, e contribuiu no terreno teórico de equações diferenciais. Em 1752, ganhou o prêmio da Academia de São Petersburgo por seu trabalho *Théorie de la Lune* (ampliado e reeditado em 1765), sobre o movimento lunar. A mais importante obra matemática de Clairaut foi, contudo, escrita aos 18 anos, em 1731, intitulada *Recherches sur les Courbes à Double Courbure*, sobre curvas no espaço, por meio de projeções em dois planos coordenados, obra pioneira no estudo da Geometria analítica no espaço. O emprego do método sugeriu[328] a Clairaut o nome de curva "reversa", pois sua curvatura é determinada pelas curvaturas das duas projeções. Em 1760, escreveu novo livro de Matemática aplicada, intitulada *Théorie du Mouvement des Comètes*.

Jean Le Rond D'Alembert (1717-1783), criado por um vidreiro e sua esposa, fora abandonado perto da Igreja Jean Baptiste Le Rond, em Paris, razão da escolha do nome pelos pais adotivos; é desconhecida a origem do sobrenome. A esmerada educação do jovem Jean, que foi aluno do prestigioso Colégio Mazarin, foi custeada, secretamente, pelo pai, um aristocrata de nome Destouches. Como os Bernoulli e Euler, tinha uma

[328] BOYER, Carl. *História da Matemática.*

ampla e diversificada cultura – Direito, Medicina, Ciências, Matemática – e, como Clairaut, foi precoce. Principal colaborador, de 1750 a 1772, de Diderot na direção e preparação da Enciclopédia Francesa, redigiu D' Alembert a maioria dos artigos científicos e matemáticos e o célebre *Discurso Preliminar* da Enciclopédia. Eleito membro da Academia de Ciências aos 24 anos (1741), ingressou na Academia Francesa em 1754, sendo seu "secretário perpétuo" desde 1772. Declinou dos convites de Frederico II e de Catarina II para presidir as Academias de Berlim e de São Petersburgo, mas indicou (e foi aceito) Lagrange para a Academia alemã. Interessou-se D'Alembert por vários assuntos da Matemática, como a Teoria das Probabilidades, Teoria dos Números, a natureza dos logaritmos de números negativos e a Teoria das cordas vibrantes, tendo sido, em 1747, criador, com Daniel Bernoulli, da Teoria das equações diferenciais às derivadas parciais. Sua obra mais famosa é o *Traité de Dynamique*[329], com o método de reduzir a dinâmica dos corpos sólidos à Estática pelo "princípio de D'Alembert" (que é uma generalização da terceira lei do movimento de Newton), pelo qual as ações e reações de um sistema interno dos corpos sólidos em movimento estão em equilíbrio. Sua contribuição à Hidrodinâmica consta do *Traité de l'Équilibre et du Mouvement des Fluides*, de 1744.

O suíço-alemão Johann Heinrich Lambert (1728-1777), como Euler e D'Alembert, foi um matemático com tendências filosóficas, de vasta cultura, que durante alguns anos foi associado a Euler na Academia de Berlim. Consta que quando Frederico II lhe perguntou em que Ciência era mais competente, teria respondido que em todas. Escreveu sobre Cosmografia, Geometria descritiva, Cartografia, Lógica e Filosofia da Matemática. Dedicou-se à Geometria, procurando ir além de Saccheri no exame do postulado euclidiano das paralelas. Em 1766, escreveu a *Teoria das paralelas* (publicada postumamente em 1786), na qual tomou como ponto de partida um quadrilátero tendo três ângulos retos (quadrilátero de Lambert) e considerou as três possibilidades para o quarto ângulo (agudo, reto ou obtuso). Nesse estudo especulou sobre uma possível nova superfície, mas, ao não prosseguir em sua elaboração, deixou de descobrir as geometrias não euclidianas. O próprio Lambert escreveu que

> provas do postulado de Euclides podem ser levadas até um ponto tal que aparentemente só falta uma bagatela. Mas uma análise cuidadosa mostra que nessa aparente bagatela está o cerne da questão; usualmente ela contém ou a proposição que se quer provar ou um postulado equivalente a ele[330].

[329] TATON, René. *La Science Moderne.*
[330] BOYER, Carl. *História da Matemática.*

Lambert também é conhecido por ter sido o primeiro a provar ser π (pi) um número irracional, conforme expôs na Academia de Berlim em 1761.

A italiana Maria Gaetana Agnesi (1718-1799), filha de professor de Matemática, foi extremamente talentosa e erudita, entrando na História da Matemática não por seu pioneirismo, como uma das primeiras mulheres nessa área, mas por sua contribuição real ao desenvolvimento da Ciência.

Aprendeu, em criança, latim, grego, hebraico, francês, espanhol e alemão; aos nove anos, publicou um discurso seu, em latim, favorável à educação superior para as mulheres, e, aos 20, sua *Propositiones Philosophicae*, coletânea de 190 ensaios sobre Matemática, Lógica, Mecânica, Hidromecânica, Elasticidade, Gravitação, Mecânica Celeste, Química, Botânica, Zoologia e Mineralogia. Em 1748, aos 30 anos, publicou, em dois volumes, *Instituzioni Analitiche*, verdadeiro curso de Matemática elementar e avançada para jovens; no primeiro volume, tratou de Aritmética, Álgebra, Trigonometria, Geometria analítica e Cálculo, e no segundo volume, de séries infinitas e equações diferenciais. Uma curva cúbica, estudada por Fermat e Guido Grandi, tem o nome de "curva de Agnesi"[331].

Finalmente, dado o grande interesse despertado pela Matemática no grande público, vários famosos matemáticos escreveram livros didáticos de alto nível, que, pela reputação e qualidade, tiveram muitas edições. Dos mais conhecidos, basta citar Clairaut (*Éléments de Géométrie e Éléments d'Algèbre*), Colin Maclaurin (*Treatise of Algebra*), Thomas Simpson (*Treatise of Algebra*), Nicholas Saunderson (*Elements of Algebra*), Etienne Bezout (*Cours de Mathématique*).

6.11.3 Época de Lagrange

A terceira época foi, essencialmente, circunscrita aos seis chamados "matemáticos da Revolução": Lagrange, Legendre, Condorcet, Carnot, Monge e Laplace.

Lagrange e Euler são considerados os dois maiores matemáticos do século XVIII. Como escreveu o já citado Howard Eves, "qual dos dois foi o maior matemático é uma questão de opinião e, portanto, um reflexo da sensibilidade matemática de quem emite juízo". Joseph-Louis Lagrange (1736-1813) nasceu em Turim, de pais de ascendência francesa e italiana. Foi professor de Matemática da Academia Militar de Turim desde 1756.

331 EVES, Howard. *Introdução à História da Matemática.*

Ao estudar os teoremas de Fermat, descobriu, em 1766, o princípio de uma solução completa da equação de segundo grau a duas variáveis, em números inteiros. Quando Euler deixou a Prússia (1766), Frederico II, por sugestão de D'Alembert e do próprio Euler, convidou o "maior matemático da Europa" para dirigir o Departamento de Matemática da Academia de Ciências de Berlim, onde permaneceria por 21 anos. Nesse período, enviou à Academia de Ciências de Paris quatro *Memórias*[332] sobre Astronomia, que seriam premiadas: *Memória sobre as irregularidades do movimento dos satélites de Júpiter*, *Estudo sobre o problema dos três corpos*, *Memória sobre as irregularidades periódicas e seculares do movimento da Lua* e *Tratado sobre os cometas*. Já na França, a partir de 1787, a despeito da caótica situação política do país, aceitou uma cátedra na recém-criada Escola Normal, e, depois, na Escola Politécnica de Paris, também estabelecida pela Revolução. Participou da Comissão de Pesos e Medidas do recém-criado Instituto de França, encarregada de criar o sistema métrico decimal. Expressou sua indignação pela execução, em 1794, de Lavoisier no regime do Terror: "bastou à turba um momento apenas para decapitar-lhe a cabeça; um século não será suficiente para que surja outra igual". Napoleão, que o admirava e o fez conde e senador do Império, declarou que Lagrange era a "pirâmide mais alta da ciência matemática".

Suas principais obras são, por ordem cronológica: *Mémoire sur la Résolution des Équations Numériques* (1767), em que apresentou método para separar raízes reais de uma equação algébrica e para as aproximar por meio de frações contínuas[333]; *Réfléxions sur la Résolution Algébrique des Équations* (1770), que o conduziu às funções racionais das raízes e ao seu comportamento em relação a permutações de raízes (Struik); *Additions à l'Algèbre d'Euler* (1772), *Mécanique Analytique* (1788), *Théorie des Fonctions Analytiques* (1797) e *Leçons sur le Calcul des Fonctions* (1801), estas duas obras sendo resultado de suas aulas na Politécnica.

Na *Mecânica Analítica*, tida como sua obra-prima, Lagrange apresentou um histórico da Mecânica desde Newton, baseado em seu "cálculo de variações", e colocou a teoria mecânica dos sólidos e fluidos em rigorosa base analítica, pelo que esta extraordinária contribuição se inscreve no âmbito da Física, especificamente da Mecânica.

Na *Teoria das Funções Analíticas*, de 1797, desenvolveu Lagrange os princípios do Cálculo infinitesimal, substituindo as considerações dos infinitamente pequenos e dos "evanescentes", em que se apoiava Leibniz, e as de limites e fluxões, empregadas por Newton, pelas considerações

332 BARBOSA, Luiz Hildebrando Horta. *História da Ciência.*
333 STRUIK, Dirk. *História Concisa das Matemáticas.*

características do seu método: as derivadas. Embora este método algébrico de fundamentar o Cálculo não fosse totalmente satisfatório, o tratamento abstrato das funções foi um considerável passo à frente, surgindo a primeira "teoria de funções de uma variável real", com aplicações a uma grande variedade de problemas na Álgebra e na Geometria.

O enciclopedista Marie-Jean-Antoine-Nicolas de Caritat, marquês de Condorcet (1743-1794), de família nobre, estudou em colégio jesuíta, em Reims, e depois, no Colégio de Navarra e Mazarino, em Paris. Em 1765, escreveu um *Ensaio sobre o cálculo integral*, no qual mostrou sua grande aptidão para a Matemática. Eleito para a Academia de Ciências, em 1769, e seu secretário, a partir de 1777, escreveu, em 1772, outro trabalho sobre Cálculo. Colaborou com artigos para a Enciclopédia de Diderot e serviu, de 1794 a 1796, como Inspetor-geral da Casa da Moeda; e, durante o período de Turgot, como Inspetor-geral das Finanças. Interessou-se Condorcet pelo grande tema da atualidade, a Teoria das Probabilidades, para a qual contribuiu com o *Essai sur l'Application de l'Analyse à la Probabilité des Décisions rendues à la pluralité des voix* (1785), importante obra, na qual estabeleceu o conhecido "paradoxo de Condorcet": é possível que a maioria prefira a opção A sobre a B, uma maioria prefira a opção B sobre a C e ainda que uma maioria prefira a opção C à opção A. A obra seria reeditada, e ampliada, em 1805, com o título *Éléments du Calcul des Probabilités et son Application aux Jeux de Hasard, à la Loterie et aux Jugements des Hommes*.

Eleito representante de Paris para a Assembleia Legislativa, foi seu secretário; defensor da instrução pública gratuita, preparou o esboço do sistema de educação, que viria a ser aprovado. Republicano declarado, votou favorável à convocação da Convenção Nacional, mas votou contra a pena de morte para Luiz XVI. Girondino, preparou Condorcet projeto de Constituição que foi rechaçado pela maioria da Convenção, de tendência jacobina. Perseguido por seus inimigos políticos, foi preso e depois liberado; porém, temeroso do clima de terror reinante, passou algum tempo escondido, mas ao sair de seu esconderijo foi reconhecido e preso em 27 de março de 1794. Dois dias depois foi encontrado morto na prisão, sem se saber até hoje a real causa de sua morte. Sob tremenda pressão psicológica dos últimos meses de vida, escreveu, na prisão, em 1794, o que é considerada sua obra-prima, o *Esboço de um Quadro Histórico dos Progressos do Espírito Humano*, estudo pioneiro no campo sociológico.

O geômetra Gaspard Monge (1756-1818), de origem humilde, estudou em sua cidade natal, Beaune, e em Lyon, onde, aos 16 anos de idade, já ensinava Física. Em férias, em Beaune, preparou excelente

planta da cidade (1762), que, por iniciativa de um oficial do Exército, o recomendou à aristocrática Academia Militar de Mézières[334], que o aceitou como desenhista. Pouco depois, tendo de desenhar um lugar apropriado para a localização de uma fortaleza e de seus canhões, Monge, ao invés de utilizar o tradicional, mas lento e enfadonho, método aritmético, inovou, aplicando método geométrico. O cálculo, aplicado em curvas e superfícies no espaço (Geometria analítica), seria considerado "segredo militar", pelo que só viria a ser tornado público em 1795, quando foi autorizado a ensiná-lo a seus alunos na Escola Politécnica. Ainda em Mézières, desenvolveu o método de aplicar Geometria a problemas de construção, o que viria a ser conhecido como "Geometria descritiva". De 1768 a 1783, ensinou Monge Matemática e Física na Academia Militar; em 1780, foi nomeado para a cátedra de Hidráulica e eleito associado da Academia de Ciências. Em 1781, preparou estudo sobre terremotos, em sua *Sur la Théorie des deblais et des remblais* (*Sobre a teoria do desentulho e do aterro*), no qual utilizou o Cálculo para definir a curvatura da superfície, determinou a equação diferencial da curvatura e estabeleceu a teoria geral. De 1783 a 1789, atuou em Paris como examinador de cadetes navais e se envolveu direta e pessoalmente na Revolução, tendo sido membro da Comissão de Pesos e Medidas (1791), e Ministro da Marinha e das Colônias (1792/93). Participou da criação do Instituto de França (1795) e colaborou na defesa nacional contra as forças contrarrevolucionárias, inclusive escrevendo dois manuais para ajudar na fabricação de armas: *Description de l'art de fabriquer des canons* e *Avis aux ouvriers em fer sur la fabrication de l'acier*. Em 1794/95, ensinou Matemática na recém-criada Escola Normal, e, depois, na Escola Politécnica, também fundada durante o Diretório. Amigo e defensor de Napoleão, foi enviado à Itália, em 1796, para selecionar quadros e esculturas que seriam enviados para a França como botim de guerra, e acompanhou Napoleão ao Egito. Com a Restauração, perdeu todas as regalias e benefícios, tendo sido até excluído da lista de membros do novo Instituto de França, que ajudara a criar.

Monge foi o fundador da Geometria descritiva, a primeira grande teoria geral da arte de construir, indispensável ao arquiteto e ao engenheiro. Sobre seu trabalho, o próprio Monge escreveu:

> Essa arte tem dois objetivos principais: o primeiro, o de representar com exatidão, sobre desenhos que só têm duas dimensões, os objetos que têm três. Sob esse ponto de vista, é uma linguagem necessária aos engenheiros que concebem um projeto, aos que devem dirigir a execução e também aos

[334] ROUSSEAU, Pierre. *Histoire de la Science.*

> artistas que, eles próprios, devem executar as diferentes partes do plano. O segundo objeto da Geometria Descritiva é o de deduzir da descrição exata dos corpos tudo que resulta necessariamente de suas formas e de suas posições respectivas. Nesse sentido, é um processo de pesquisa da verdade, oferecendo exemplos claros e precisos da passagem do conhecido ao desconhecido[335].

Além do estudo da sombra, perspectiva e topografia, deu Monge especial atenção à sua "Teoria das famílias de superfícies" e a propriedades da superfície, incluindo retas normais e planos tangentes, que, segundo Lagrange, bastaria para imortalizá-lo. A Geometria descritiva, ou método da dupla projeção, consiste em se tomar dois planos perpendiculares entre si, um vertical e o outro horizontal, e se projetar a figura a ser representada ortogonalmente sobre esses planos, indicando claramente as projeções de todas as arestas e vértices. A projeção no plano vertical chama-se "elevação", e no horizontal, "plano". O plano vertical é dobrado em torno da reta intersecção dos dois até estar também em projeção horizontal. A elevação e o plano fornecem, assim, um diagrama, em duas dimensões, do objeto tridimensional. Este simples processo produziria, nos dias de Monge, uma verdadeira revolução na engenharia militar.

Em 1794/95, ensinou Monge na Escola Normal, e, logo em seguida, na Escola Politécnica, sua Geometria descritiva. Como não deixou nada escrito sobre seus ensinamentos, suas aulas foram editadas e publicadas para uso escolar, em 1799, sob o título *Géométrie Descriptive*.

Da mesma forma procederia Monge quanto à Geometria analítica espacial, preparando texto para suas aulas na Politécnica, que seriam publicadas como *Feuilles d'Analyse*, em 1795, "primeira exposição do conjunto da Geometria analítica Moderna"[336]. Posteriormente, esse estudo conciso seria ampliado e publicado, em 1807, como *Application de l'Analyse à la Géométrie*. Seus ensinamentos na Politécnica na utilização da Álgebra na Geometria seriam primeiro publicados na revista da Politécnica, em 1802, como *Aplicação da Álgebra à Geometria*, com a colaboração de Jean Nicolas Hachette (1768-1834).

O astrônomo e matemático Pierre-Simon Laplace (1743-1827), de origem modesta, estudou no colégio beneditino de Beaumont e cursou a Escola Militar na mesma cidade. Aos 20 anos, já em Paris, impressionou, pela inteligência e conhecimento, D'Alembert, que obteve para o jovem matemático o posto de professor na Escola Real Militar. Vivendo em uma época politicamente conturbada, Laplace manteve-se alheiro à política,

[335] BARBOSA, Luiz Hildebrando Horta. *História da Ciência.*
[336] TATON, René. *La Science Moderne.*

ao contrário de outros matemáticos contemporâneos, como Condorcet, Monge e Carnot. De seus cursos na Escola Normal e na Escola Politécnica, não deixou, como Lagrange e Monge, anotações que pudessem vir a ser publicadas. Membro eleito da Academia de Ciências, em 1785, e depois do Instituto de França foi, também, membro da Academia Francesa. Foi Senador, em 1799, Ministro do Interior de Napoleão e Conde do Império, tendo recebido benefícios e honrarias, igualmente, da Restauração (1814), como o título de Marquês e a nomeação de "par de França".

Suas mais célebres e importantes atividades foram na Teoria das Probabilidades e em Cosmologia/Astronomia. Nesse último campo, escreveu, em 1796, a *Exposition du Système du Monde*, livro introdutório e explicativo do monumental *Traité de Mécanique Celeste* (5 volumes) de 1799/1825. Laplace dedicou-se também a pesquisas no campo da Física, como refração, propriedades estáticas da Eletricidade, velocidade do som e propriedades do gás.

No campo da Matemática pura, seria o precursor na demonstração completa do teorema de D'Alembert sobre a forma das raízes das equações algébricas, e aperfeiçoaria os métodos para a integração das equações de diferenciais parciais.

Como diversos outros matemáticos do século XVIII (de Moivre, Bernoulli, D'Alembert, Condorcet), interessou-se Laplace pela Teoria das Probabilidades, para a qual daria importantes contribuições, tanto em princípios e métodos de Cálculo, quanto em suas aplicações práticas. Numa série de *Memórias*, de 1771 a 1812, tratou do tema, até publicar, nesse último ano, sua principal obra, intitulada *Théorie Analytique des Probabilités*, seguida do *Essai Philosophique sur les Probabilités*, de 1814. Essas duas obras encerram este período de pesquisa sobre o tema, quando o cálculo das probabilidades se constituiria em disciplina autônoma[337]. A obra tem extensa introdução à teoria, que, no dizer do autor,

> consiste na redução de todos os acontecimentos da mesma espécie a certo número de casos igualmente prováveis, que são casos em que estamos igualmente indecisos sobre sua existência, e na determinação no número de casos que são favoráveis ao acontecimento do qual procuramos a probabilidade[338].

Jogos de azar, probabilidades geométricas, teorema de Bernoulli, teoria dos mínimos quadrados, inventados por Legendre, são examinados.

[337] TATON, René. *La Science Moderne.*
[338] STRUIK, Dirk. *História Concisa das Matemáticas.*

A ideia de Laplace de "funções geradoras" seria fundamental para a solução de equações diferenciais. Laplace estendeu a teoria a problemas demográficos, a certos assuntos jurídicos e a questões científicas, como a explicação das desigualdades no movimento planetário, a inclinação das órbitas dos cometas e a distribuição das estrelas na abóbada celeste.

Lazare Nicolas Marguerite Carnot (1753-1823) cursou a Academia Militar de Mézières, onde foi aluno de Monge, e aos 30 anos era capitão de artilharia. Em 1784, escreveu seu primeiro trabalho matemático sobre Mecânica. Aderiu com entusiasmo à Revolução Francesa, envolvendo-se direta e decisivamente na Política. Foi membro da Assembleia Nacional, da Assembleia Legislativa, da Convenção Nacional, e participou ativamente do Comitê de Salvação Popular. Ameaçada a França de invasão pelas potências monárquicas do continente, organizou os exércitos da Revolução, inspecionou as fronteiras e reforçou as fortalezas nas áreas mais expostas ao inimigo. Seu êxito lhe valeu o título de "o organizador da vitória", tornando-se um dos mais populares personagens da Revolução. Votou pela morte de Luiz XVI, participou da criação da Escola Politécnica, e entrou para o Instituto de França, em 1796. Participou do Conselho dos 500 e do Diretório, mas se opôs ao golpe de estado de Napoleão, em 1797, refugiando-se em Genebra. Na Suíça, publicaria seu livro semifilosófico, intitulado *Réflexions sur la Metaphysique du Calcul Infinitésimal* (1797). De regresso à França, serviu a Napoleão como Ministro da Guerra, em 1800, mas se opôs à criação do "Império", retirando-se, temporariamente, da vida pública. Voltou a servir a Napoleão como Ministro do Interior, durante os "100 dias", mas com a Restauração, exilou-se em Varsóvia, e, depois em Magdeburgo, onde faleceu. Carnot, durante seu período de ostracismo político, escreveu três importantes livros de Geometria clássica, em 1802, *De la Correlation des Figures de Géométrie*, em 1803 a *Géométrie de Position* e, em 1806, o *Essai sur la Théorie des Transversales*.

Seu livro *Réflexions* (1797) foi muito popular, com várias edições e diversas traduções. Carnot defendeu a tese de um princípio unificador no Cálculo, dada a insatisfação pelas fluxões de Newton, pelos diferenciais de Leibniz e pelos limites de D'Alembert, concluindo que os verdadeiros princípios metafísicos eram os "princípios da compensação dos erros". Com o argumento de que os "infinitésimos" eram desprezíveis e que entravam no Cálculo somente para facilitar a computação, propôs a eliminação dessas quantidades infinitesimais, cuja presença causava erros[339]. Seu ponto de vista não viria a ter sucesso nas futuras pesquisas de Cálculo.

339 BOYER, Carl. *História da Matemática.*

No *De la Correlation* (1803), procurou Carnot estabelecer para a Geometria pura uma universalidade comparável à da Geometria analítica, tema que seria retomado no clássico *Géométrie de position* (1803), livro que o colocaria ao lado de Monge na fundação da Moderna Geometria pura. No *Essai sur la Théorie des Transversales* (1806), elaborou teorema que tem seu nome e estudou geômetras antigos, como Menelau (teorema) e Heron (área do triângulo).

Adrien Marie Legendre (1752-1833) estudou no Colégio Mazarino, foi professor da Escola Militar (1775-80) e da Escola Normal, em 1795. De natureza tímida e reservada, não conseguiu se impor no meio científico francês, nem obter nomeação para postos relevantes do Estado. Membro da Academia de Ciências, foi nomeado, em 1787, para chefiar os trabalhos geodésicos de ligação do Observatório de Paris ao de Greenwich.

O primeiro sucesso de Legendre foi seu livro *Éléments de Géométrie*, publicado em 1794, com o objetivo de retomar o alto nível da obra de Euclides, ainda o principal manual, em uso, de Geometria. A obra de Legendre, que incluía Trigonometria, provas da irracionalidade do π (pi) e do π^2 (pi ao quadrado) e um anexo sobre as paralelas, teve um imediato êxito, sendo adotado, no continente europeu e nos EUA, como padrão para texto de manual; houve 20 edições desta obra durante a vida do autor.

Apesar do êxito de sua Geometria, Legendre pesquisou, escreveu e contribuiu em outros campos, como Teoria dos Números, Cálculo, Teoria das Funções, equações diferenciais, e Matemática aplicada.

Em seu *Essai sur la Théorie des Nombres*, em dois volumes, de 1798, com acréscimos em 1816 e 1825, redescobriu Legendre a “lei da reciprocidade quadrática” de Euler, dando-lhe nova e Moderna forma, ao que Gauss considerava como a “gema da Aritmética” e o mais importante trabalho na Teoria dos Números, desde Fermat. Fascinado pelo “último teorema de Fermat” deu uma prova (1825) de sua insolubilidade para “n=5”[340].

O *Exercices du Calcul Integral* (1811-1819), que rivalizou com a obra de Euler, em alcance e autoridade, se referiu em grande parte a funções elípticas, assunto em que vinha trabalhando desde 1786. A obra foi expandida em mais três volumes, formando o *Traité des Fonctions Elliptiques et des Intégrales Euleriennes* (1825/1832). Nessa obra, e em artigos anteriores, Legendre introduziu o nome de “integrais eulerianas” para as funções beta e gama, e forneceu alguns instrumentos básicos de análise que levam seu nome (funções de Legendre – que são soluções de equações diferenciais de Legendre). Reduziu as integrais elípticas a três

[340] BOYER, Carl. *História da Matemática.*

formas-padrão, descoberta que viria a ser feita independentemente, pouco depois, por Niels Abel (1802-1829) e Karl Jacobi (1804-1851).

Importantes matemáticos, como Gauss, Poisson, Poncelet, Cauchy, Lobachevski, embora nascidos no século XVIII, serão estudados, mais adiante, no capítulo correspondente ao século XIX, já que suas obras, em alguns casos na sua totalidade, foram escritas nesse outro período da evolução da Matemática.

6.12 Astronomia

O extraordinário avanço no conhecimento do Universo, e de suas leis (Galileu, Kepler), foi coroado com a criação, por Newton, da "Mecânica Celeste", definida por Kovalevsky como a "aplicação das Leis da Mecânica universal ao estudo dos movimentos e dos equilíbrios dos corpos celestes que sofrem a ação das forças cuja origem é gravitacional. Conseqüentemente, os princípios da Mecânica Celeste são os princípios da Mecânica geral aos quais é necessário acrescentar a Lei da Gravitação Universal"[341]. Contribuições pioneiras e fundamentais de Descartes, Borelli, Picard, Huygens, Hevelius, Horrocks e Römer, entre outros, completam o quadro das grandes formulações de teorias matemáticas e mecânicas e de notáveis descobertas astronômicas no século XVII.

A teoria newtoniana era, contudo, contestada por importantes segmentos dos meios intelectuais do continente europeu (Leibniz, Cassini, Fontenelle, cartesianos), opostos à "ação à distância", isto é, "à atração exercida sem liames, sem contatos físicos e sem ação de um meio material interposto entre os corpos que se atraem"[342]. Leibniz chegou a acusar Newton de submeter a Ciência à Metafísica. Outras questões não encontravam, também, explicação razoável na teoria gravitacional, tornando-se problemas para sua aceitação generalizada. Assim, não havia uma resposta adequada para certas questões, como a dos três corpos (Sol, Terra e Lua, ou Netuno e seus quatro satélites, por exemplo), cujos movimentos, sujeitos à influência mútua dos campos gravitacionais de cada um sobre os demais, não poderiam ser previsíveis e determinados; a da chamada "aceleração secular da Lua", cuja descoberta é atribuída a Edmond Halley (1695), e a da forma "geoide" da Terra.

O estudo de tão controvertidos temas astronômicos conduziria a um significativo progresso da Matemática (Cálculo, Geometria) e da

[341] VERDET, Jean-Pierre. *Uma História da Astronomia.*
[342] BARBOSA, Luiz Hildebrando Horta. *História da Ciência.*

Mecânica (Dinâmica), o que permitiria a utilização de novos métodos matemáticos na solução de um grande número de problemas da Mecânica Celeste. Desta forma, o desenvolvimento da Astronomia, da Mecânica e da Matemática está intimamente vinculado e interligado, o que explica, também, a contribuição fundamental de matemáticos a esses ramos da Ciência.

O método usado por Newton em sua Mecânica Celeste fora puramente geométrico, desenvolvendo as demonstrações de seus teoremas com a ajuda de figuras e construções. Esse "método sintético" era o dos antigos geômetras gregos. O "método analítico", pelo qual se buscam as condições para a existência de um teorema ou das propriedades de uma figura, deriva da aplicação da Álgebra à Geometria, ou da Geometria analítica, de Descartes. Seu desenvolvimento permitiria a solução de um número ilimitado de problemas[343]. A *Mecânica Analítica* (tratamento da Mecânica pelo Cálculo), estabelecida por Euler, em 1736, em sua *Mechanica sive Motus Scientia Analytica Exposita*, foi fundada por Lagrange em sua *Mecânica Analítica*, de 1788.

A adoção, no continente europeu (Suíça, França. Reinos alemães, Itália e outros) do método de cálculo de Leibniz (entre outros, por Varignon, Euler, Bernoulli, L'Hôpital, Maupertuis, Clairaut, D'Alembert, Lagrange) permitiria o desenvolvimento da Matemática e da Mecânica teóricas, o que explica a evolução, nesse período, da Mecânica Celeste, principalmente na França, durante a segunda metade do século XVIII. A comprovação da Mecânica Celeste de Newton seria, assim, basicamente, obra de matemáticos e astrônomos franceses.

Cabe registrar o surgimento de teorias cosmogônicas/cosmológicas (Buffon, Kant, Laplace), sem recurso à Metafísica, importante indício de mudança de mentalidade e da formação de um novo espírito, que se confirmariam no século seguinte.

Ao mesmo tempo que se desenvolvia a Astronomia teórica, baseando-se na Mecânica Celeste, a Astronomia de posição obteria, igualmente, grandes êxitos, o que traria um bem melhor conhecimento da abóbada celeste. As descobertas de Bradley (aberração da luz), de Herschel (distância e movimentos estelares, Urano), Lalande (catálogo de estrelas), Piazzi e Olbers (asteroides), e os estudos sobre os cometas e as nebulosas, entre outras realizações dos astrônomos, trariam uma nova ideia e concepção do Universo, com um Sistema Solar com sete planetas, bastante diverso daquele da época de Newton[344]. Tão significativos progressos foram devidos, em boa parte, ao aperfeiçoamento dos

343 ROUSSEAU, Pierre. *Histoire de la Science.*
344 TATON, René. *La Science Moderne.*

equipamentos de precisão e de observação, como o telescópio, graças aos esforços e melhoramentos introduzidos por Herschel e Dollond.

A teoria cosmogônica de Laplace e o término dos trabalhos de Herschel encerrariam essa etapa da evolução, que, coincidentemente, se iniciara em 1727 (ano da morte de Newton), e se fecharia em 1827 (ano da morte de Laplace).

O interesse pelo estudo da Astronomia aumentaria durante o período, conforme atesta a construção de novos observatórios em Universidades e Academias, como as de São Petersburgo, Göttingen, Leiden e na Itália, como a obra de Bernard Fontenelle (1657-1757), intitulada *Entrétiens sur la Pluralité des Mondes*, de 1686, que, além de divulgar e popularizar o conhecimento astronômico, seria fundamental para a definitiva aceitação do modelo heliocêntrico de Copérnico.

Assim, houve um notável avanço na Astronomia teórica e de posição para o entendimento do Universo, proporcionado pelos trabalhos e descobertas do século XVIII, os quais, por sua dependência da Matemática, foram os grandes impulsionadores dos estudos e pesquisa, em particular no Cálculo (Análise).

6.12.1 Instrumentos de Observação e Medição

O notável desenvolvimento da Astronomia, desde o início do século XVII, é, em boa parte, devido à invenção e aperfeiçoamento de instrumentos de observação, de medição e de precisão, como a luneta, o sextante e o micrômetro. Apesar de suas reconhecidas imperfeições e deficiências, esses instrumentos, em particular a luneta, seriam cruciais para os importantes avanços na observação da abóbada celeste, principalmente da posição dos astros, após a fundação do Observatório de Paris (1667) e do de Greenwich (1675).

As pesquisas e as descobertas de astrônomos, como o alemão Johannes Hevelius, o ítalo-francês Jean Dominique Cassini, o holandês Christiaan Huygens, o dinamarquês Olaf Römer e os ingleses John Flamsteed e Edmond Halley, ampliariam bastante o conhecimento do Sistema Solar, porém as deficiências dos instrumentos de observação limitavam a possibilidade de maiores progressos nessas investigações.

O trabalho para o conhecimento da posição exata dos astros e das estrelas era da maior relevância para os astrônomos do século XVIII, atividade que contaria com o apoio dos governos, interessados em

navegação e geografia, por motivo de ordem comercial e militar[345]. Nascia, em consequência, a "Astrometria", prioridade para a Inglaterra, potência imperial, marítima e comercial.

O requisito da Astrometria por instrumentos de maior precisão e melhor medição incentivaria o aperfeiçoamento: i) dos telescópios (refrator e refletor); ii) dos sextantes, inclusive a montagem do "sextante de meridiano" ou "de passagem" para a determinação de horas e longitude e a observação da passagem de estrelas pelo meridiano; e iii) do micrômetro (inventado no século precedente).

Os aperfeiçoamentos nos telescópios foram fundamentais para o progresso da Astronomia de posição. No caso do telescópio refrator (luneta), utilizado por Galileu, o astrônomo Kepler havia substituído a ocular côncava pela convexa, de foco curto. Como explicou o já mencionado Rogério Mourão, com isto, o campo se alargava, ao mesmo tempo em que a ampliação podia ser aumentada, com o emprego de objetiva de maior diâmetro. Tais objetivas, contudo, tinham o defeito de fornecer imagens franjadas com as cores do arco-íris, pois os vidros das lentes não tinham o mesmo índice de refração para todas as cores do espectro. Essa "aberração cromática" era contornada com o alongamento da distância focal, ou seja, o comprimento das lunetas chegou de 75 mm a 230 mm de diâmetro, e focos enormes de 30, 45 e até 70 metros. Dada a dificuldade de fabricar tubos de tais dimensões, as lentes eram colocadas sobre suportes. Tal deficiência só seria sanada em 1758, pelo óptico inglês John Dollond (1706-1761)[346], que colocou na objetiva duas lentes de vidro de refração diferente, de tal modo que refratavam as várias cores da luz de maneira diferente e as combinavam de forma que a ação da primeira lente era contrabalançada pela da segunda. Uma vez acromática, a objetiva, com foco mais curto, poderia ser fixada a tubos, montados nas estruturas ou suportes inventados na época[347].

O telescópio refletor (de espelhos), utilizado por Newton, não apresentava "aberração cromática", mas deformava a imagem por "aberração esférica", problema que seria eliminado, em 1720, pelo inglês John Hadley (1682-1744), que alterou a concavidade do espelho para a forma de uma paraboloide. O primeiro grande telescópio refletor (1,20 m de diâmetro e foco de 12 m) foi construído em 1789 pelo astrônomo Wilhelm Herschel. Aliás, nessa época, bem como desde sua invenção, muitos astrônomos se dedicaram, pessoalmente, ao polimento das lentes e

[345] TATON, René. *La Science Moderne.*
[346] AZIMOV, Isaac. *Gênios da Humanidade.*
[347] MOURÃO, Rogério. *O Universo.*

à montagem dos próprios telescópios. Como era difícil, na época, fabricar e talhar espelhos metálicos, a luneta (telescópio refrator) seria o mais utilizado em todo o século XIX (Yerkes, em Chicago; Dorfat, na Rússia; Cambridge; Estrasburgo; Washington; Viena; Paris). O telescópio refletor seria o preferido no século XX (Yerkes, Monte Wilson e Monte Palomar, na Califórnia; Zalentchuk, no Cáucaso).

6.12.2 Astronomia de Posição

Os avanços na Astronomia de posição prosseguiriam por todo o século XVIII, devendo-se ressaltar os trabalhos efetuados com base em observações iniciadas no século anterior por John Flamsteed, primeiro astrônomo real da Inglaterra, cuja obra *Historia Coelestis Britannica*, publicada postumamente, em 1725, continha a posição de mais de três mil estrelas, primeiro grande catálogo "telescópico". O sucessor de Flamsteed como Diretor do Observatório de Greenwich, e segundo astrônomo real (1720), foi Edmond Halley (1656-1742), que publicara, em 1679, o *Catalogus Stellarum Australium*, primeiro catálogo "telescópico" do hemisfério sul, e ajudara financeiramente na publicação da obra *Principia*, de Newton. Em 1705, Halley escreveu *Astronomiae Cometicae Synopsis*, livro reputado como base da "cometologia" e no qual previra o retorno do cometa, hoje conhecido pelo seu nome, e, em 1718, verificou o movimento das estrelas. Halley fez, ainda, observações sobre cerca de 1500 passagens meridianas da Lua. Ao morrer, deixara consolidado o prestígio de Greenwich como o grande centro de observação astronômica.

Desde a publicação, em 1543, da *De Revolutionibus Orbium Coelestium*, de Copérnico, havia necessidade de uma comprovação empírica da certeza matemática da órbita terrestre em torno do Sol[348]. A falta dessa evidência impediu, por exemplo, Tycho Brahe, no século XVI, e outros astrônomos no século XVII, de aceitar o modelo heliocêntrico. Se bem que, no século XVIII, fosse generalizada a adoção da teoria copernicana, os astrônomos procuraram detectar e medir a paralaxe das estrelas – mudança aparente na posição do corpo celeste no período de seis meses –, pois se a Terra girasse em torno do Sol, seria inevitável que, devido a esse movimento, as estrelas mais próximas da Terra pudessem deslocar-se comparadas com as mais distantes, uma vez que podiam ser vistas em ângulos variáveis. O argumento de Copérnico de que as estrelas se encontravam tão distantes da Terra que suas paralaxes seriam

[348] TATON, René. *La Science Moderne.*

imperceptíveis, e de difícil mensuração, era refutada por seus opositores, com a alegação de que a paralaxe não era observada simplesmente porque a Terra não se movia. Até o início do século XVIII, nenhuma paralaxe fora detectada, apesar das várias tentativas (Römer e Hooke, por exemplo).

O professor de Astronomia de Oxford (desde 1721) e ex-clérigo, James Bradley (1693-1762), em 1725, utilizou, com o propósito de detectar a paralaxe das estrelas, um telescópio de 6,5 metros de comprimento, fixado em posição vertical, a fim de minimizar os efeitos da refração da luz e de modo a observar cerca de 200 estrelas, em particular a *Gamma Diaconis*. Apesar de não ter conseguido seu intento, observou Bradley modificação na posição aparente de todas as estrelas, sendo que, ao final de um ano, "todas" tinham retornado às suas posições originais. Observações mais prolongadas do fenômeno o convenceram não se tratar de paralaxe das estrelas, pois a maior mudança aparente da posição ocorrera em setembro e março, e não em dezembro e junho, como deveria acontecer. Concluiria Bradley, então, que a aparente mudança de posição de estrelas era devida à "aberração da luz da estrela", que resultava de sua velocidade finita e do movimento orbital da Terra. Assim, todas as estrelas descrevem, aparentemente, na abóbada celeste, diminutas elipses, semelhantes à da órbita da própria Terra[349]. A descoberta foi comunicada à Sociedade Real, em 1728, e publicada no *Philosophical Transactions*.

Com base na "aberração da luz", confirmou, assim, Bradley a velocidade da luz em 295 mil km por segundo, calculada por Römer, e comprovou a teoria heliocêntrica de Copérnico. A primeira paralaxe de estrela (Cisne 61) só viria a ser detectada pelo astrônomo alemão Friedrich Wilhelm Bessel (1784-1846), em 1838.

De suas observações, Bradley descobriu, também, que o eixo da Terra sofria pequena inclinação periódica (cada 19 anos), que chamou de "nutação", que era devida às mudanças na direção gravitacional da Lua, cuja órbita é complexamente irregular. Essa descoberta seria anunciada apenas em 1748, após 20 anos de meticulosas verificações das posições estelares.

À medida que se ampliava o conhecimento astronômico e se confirmavam as teorias cosmológicas de Copérnico e de Newton, aumentava o interesse, nos meios intelectuais e científicos, por informações precisas e confiáveis sobre as reais dimensões do Sistema Solar e por um entendimento dos corpos observados, como os cometas, ou recém-descobertos, como as nebulosas e os asteroides. Vários astrônomos se sobressaíram, nesse período, por suas contribuições para o esclarecimento de uma série de problemas e dúvidas, e pelas descobertas que ampliaram o conhecimento do Universo.

[349] BARBOSA, Luiz Hildebrando Horta. *História da Ciência.*

Nicolas Delisle (1686-1768), da Academia de Ciências de Paris (1714) passou 20 anos na Rússia (1727/47), encarregado da fundação e organização de uma Escola de Astronomia. Suas obras foram publicadas na Rússia, sendo importante sua *Memórias para a História e o Progresso da Astronomia, da Geografia e da Física* (1738), no qual apresentou o primeiro método exato para a determinação das coordenadas heliocêntricas das manchas do Sol e para a obtenção de seu polo de rotação.

O abade Nicolas-Louis Lacaille (1713-1762)[350], da Academia de Ciências de Paris (1741), chefiou, em 1750, a expedição científica ao Cabo da Boa Esperança, com o objetivo de calcular a distância da Lua à Terra, enquanto Lalande, em Berlim, fazia o mesmo. De regresso à França, em 1754, e após a comparação dos dados colhidos no Cabo e em Berlim, os dois astrônomos estimaram a distância do satélite da Terra em números bem próximos aos atuais 384 mil km. Nos quatro anos que permaneceu no Cabo, Lacaille fez minuciosa observação da abóbada celeste no hemisfério sul, elaborando um catálogo com mais de 10 mil estrelas. Suas obras *Astronomiae Fundamenta* (1757) e *Tábuas Solares* (1758) são reputadas como de alto valor científico.

Pierre-Louis Lemonnier (1715-1797), do Instituto de França (1795), prestigiado por Luiz XV, foi professor de Lalande, e escreveu diversas obras de repercussão, na época, como *Teoria dos Cometas* (1743), *Observações sobre a Lua, o Sol e as Estrela*s (1751/75), *Astronomia Náutica Lunar* (1774) e *História Celeste* (1774).

O alemão Johann Tobias Mayer (1723-1762), diretor do Observatório de Göttingen, preparou *Tábuas do Sol e da Lua*, consideradas como as melhores da época, e um catálogo de estrelas.

O russo Mikhail Lomonosov (1711-1765), que desenvolveu um telescópio que permitia boa visão no escuro, seria o primeiro a observar a atmosfera de Vênus, mas sua descoberta não foi divulgada na Europa.

Persistiu, no século XVIII, o mistério sobre a natureza das Nebulosas, que, para Galileu, seriam aglomerados de estrelas. Localizadas a enormes distâncias da Terra, as poucas nebulosas conhecidas não podiam ser adequadamente observadas através dos telescópios da época, o que gerava bastante confusão. Na realidade, alguns corpos celestes que, no passado, haviam sido chamados de nebulosas, são atualmente considerados de natureza bastante diversa, e recebem diferentes denominações[351]: nebulosas difusas, enormes nuvens de gás, iluminadas pela luz de estrelas vizinhas; nebulosas planetárias, anéis de gases expelidos durante a explosão de uma

---

[350] ASIMOV, Isaac. *Gênios da Humanidade.*
[351] GLEISER, Marcelo. *A Dança do Universo.*

estrela; aglomerados estelares, que podem ser aglomerados abertos com relativamente poucas estrelas, ou aglomerados globulares, com milhões de estrelas; e as galáxias, que podem ter de algumas centenas de milhões até 10 trilhões de estrelas.

O primeiro catálogo sistemático de Nebulosas foi compilado por Charles Messier (1780), com um total de 103 nebulosas, das quais 42 descobertas por ele, sendo 7 "nebulosas difusas", 4 "nebulosas planetárias", 28 "aglomerados abertos", 29 "aglomerados globulares", 34 "galáxias" e um sistema binário de estrelas, formado por duas estrelas girando em torno de si mesmas.

Charles Messier (1730-1817), da Academia de Ciências de Paris (1770) e da Sociedade Real de Londres, interessou-se, inicialmente, pelos cometas, tendo descoberto treze deles. Era conhecido, em seu tempo, como o "caçador de cometas". Como não era fácil distinguir "cometa" de "nebulosas", Messier começou, em 1760, a preparar uma lista de nebulosas, a qual serviria de referência a todos os astrônomos envolvidos em pesquisas. Em 1781, havia registrado pouco mais de mil objetos tipo "nebulosas", tornando quase obrigatória a consulta a seu catálogo, antes da publicação da descoberta de um cometa.

As nebulosas seriam, igualmente, estudadas por Herschel, que publicaria um catálogo com informações de 2500 nebulosas[352], mas ainda sem condições de esclarecer a natureza do objeto observado, apesar de dispor de melhor telescópio que Messier.

Outro astrônomo dessa época, com importantes contribuições para o conhecimento da abóbada celeste, foi o acadêmico Joseph-Jerôme Lalande (1732-1807), autor dos artigos sobre Astronomia na *Enciclopédia Francesa* de Diderot. Protegido de Lemonnier, foi enviado, muito jovem, pela Academia de Ciências, a Berlim (1750), com a missão de observar a paralaxe da Lua e sua distância da Terra, em conjunção com o trabalho de Lacaille, no Cabo da Boa Esperança. Preparou, em 1759, uma edição corrigida e ampliada das tábuas do cometa Halley e participou da observação das passagens de Vênus, em 1761 e 1769, o que permitiria calcular a exata distância entre o Sol e a Terra. Nomeado professor de Astronomia do Instituto de França em 1762, escreveu Lalande[353], em 1764, o *Traité d'Astronomie*, que obteve muito sucesso. Durante muitos anos, trabalhou em seu catálogo com mais de 45 mil estrelas, observadas entre 1789 e 1798, que integraria sua *Histoire Céleste Française* (1801). Sua outra obra foi a *Bibliographie Astronomique*, de 1803.

---

352 GLEISER, Marcelo. *A Dança do Universo.*

353 ROUSSEAU, Pierre. *Histoire de la Science.*

Apesar das importantes contribuições de diversos astrônomos para o conhecimento dos corpos celestes e para os esforços de estabelecer as dimensões do Sistema Solar, o alemão, natural de Hannover, Friedrich Wilhelm Herschel (1738-1822), é reputado como o maior astrônomo dedicado à Astronomia de observação. Em 1757, para escapar da Guerra dos Sete Anos, refugiou-se o jovem Herschel na Inglaterra (Leeds), onde permaneceria por toda sua vida, alterando, inclusive, seu nome Friedrich Wilhelm para William. Músico, tornou-se conhecido como organista e professor em Bath.

Sabia latim e italiano, e estudara Matemática e Óptica. Ao ler Newton, interessou-se por conhecer o firmamento. Trabalhou intensamente na preparação e polimento de lentes para montar seus próprios instrumentos de observação do céu. Em 1772, regressou a Hannover para buscar sua irmã, Caroline (1750-1848), que viria a ser sua grande assistente na preparação das lentes e nas pesquisas astronômicas. Em 1774, já possuía Herschel os melhores e mais poderosos telescópios (refletor e refrator) da época, inclusive os dos Observatórios de Greenwich e de Paris, iniciando, então, sua sistemática observação dos corpos celestes. Para melhor registrar suas observações, dividiu o hemisfério visível em várias áreas, que explorou em detalhe, assinalando o número e as características de cada uma das estrelas. Herschel fez quatro desses estudos, que chamou de "revista celeste"[354].

Em 1781, durante a "segunda revista", deparou-se, numa de suas pesquisas no campo estelar entre as constelações de Touro e Gêmeos, com um objeto que sabia ele não ser uma estrela, mas que poderia ser um cometa, dada sua forma de disco. Depois de minuciosa observação, concluiu, surpreso, tratar-se de um novo planeta, mais distante do Sol que Saturno, o que significava o primeiro a ser descoberto desde a Antiguidade, e com a ajuda de instrumentos, duplicando as dimensões do então conhecido Sistema Solar. A descoberta do planeta Urano (nome sugerido pelo astrônomo alemão Johann Bode) causou grande sensação, trazendo fama, prestígio, reconhecimento e admiração em todo Mundo para seu descobridor. Herschel foi recebido na Academia Real, ganhou do rei Jorge III uma pensão anual de 200 libras e foi designado seu astrônomo particular, mudando-se, em 1782, para Datchet, perto do castelo de Windsor. Para complementar a exígua pensão, Herschel continuaria a fabricar e a vender telescópios, pelo menos até se casar com uma rica viúva, o que lhe permitiria dedicar-se totalmente à Astronomia. Em 1787, descobriria, ainda, Herschel, dois satélites de Urano, o Titânia e o Oberon.

Ainda nessa "segunda revista", além de Urano, Herschel detectou 269 "estrelas duplas", das quais 227 observadas pela primeira vez, girando

[354] MASON, Stephen F. *Historia de las Ciencias.*

uma em torno da outra, o que indicava atuar a força da gravidade no espaço da mesma forma que no Sistema Solar. Em dezembro de 1781, leu para uma plateia em Bath, seu opúsculo *Sobre a Paralaxe das Estrelas Fixas*, e no mês seguinte, apresentou seu *Catálogo de Estrelas Duplas*. Ao longo de sua carreira, descobriria cerca de 848 dessas estrelas duplas ou binárias, que constariam de adições ao catálogo original. A primeira paralaxe estelar (Cisne 61) só viria a ser medida (0,31" do arco) em 1837, por Bessel.

Em 1783, construiu Herschel seu mais famoso telescópio, de um diâmetro de 47,5 cm e distância focal de 6,1 m, com o qual iniciou suas pesquisas sobre as *Nebulosas*, estudadas por Messier, que publicara, em 1781, seu primeiro catálogo (um total de 103 recenseadas) desses objetos celestes. A natureza das nebulosas era controvertida, subscrevendo Herschel a opinião de Kant de se tratar de "vias-lácteas extremamente longínquas". Sistemático, iniciou Herschel sua pesquisa com o recenseamento e a classificação morfológica desses objetos, e o estudo detalhado da estrutura da nossa galáxia. Em pouco tempo, publicaria duas *Memórias* e um catálogo: em 1784, *Relatório de algumas Observações com Intenção de Investigar os Céus;* em 1785, *Sobre a Construção dos Céus;* e, em 1789, o *Catálogo de um Segundo Milheiro de Novas Nebulosas e Aglomerações de Estrelas*.... Dessas observações concluiria Herschel que nem todos os objetos "vaporosos" eram necessariamente conjuntos de estrelas. Em 20 anos de varredura sistemática dos céus (1783/1802), Herschel aumentou o número de nebulosas de 103 para 2.500.

Como resultado dessas pesquisas, Herschel conseguiu verificar que o movimento das estrelas, já detectado por Halley, era devido ao deslocamento do Sol e de seu sistema em direção da constelação de Hércules, com uma velocidade avaliada em 21 km por segundo[355].

Neste sentido, escreveria quatro *Memórias* dedicadas à Cosmologia, publicadas no século XIX. A primeira *Memória* foi a *Observações Astronômicas relativas à Construção dos Céus*, que apresentava e classificava todas as formas das nebulosas observadas, procurando estabelecer um encadeamento entre elas, mesmo entre as de tipos diferentes; a segunda *Memória*, de 1814, era intitulada *Observações astronômicas relativas à Parte Sideral dos Céus e sua Conexão com a Parte Nebulosa*, na qual preparava o caminho para "uma investigação final da disposição universal de todos os corpos celestes no espaço"; em 1817, Herschel publicaria a terceira *Memória*, *Observações Astronômicas para Investigar a Disposição Local dos Corpos Celestes no Espaço e na Via-Láctea*, na qual apresentou o resultado de suas novas sondagens e retomou os problemas da determinação das

355 BARBOSA, Luiz Hildebrando Horta. *História da Ciência.*

distâncias; a quarta e última *Memória* foi apresentada em 1818, *Observações Astronômicas para a Apuração da Distância Relativa de Conjuntos de Estrelas e do Poder de Telescópios para Penetrar no Espaço*[356].

Por suas contribuições à Astronomia, devem ser mencionados os trabalhos de quatro outros pesquisadores (um italiano e três alemães), desta fase final do período.

Os "asteroides", minúsculos corpos celestes de pouca luminosidade, não eram conhecidos até o último dia do século XVIII. No dia 1 de janeiro de 1801, o astrônomo italiano Piazzi, ao examinar a constelação de Touro, descobriu um objeto celeste que se localizava entre Marte e Júpiter. Poucos dias depois, Piazzi perdeu contato com o objeto. A tarefa de encontrar sua órbita foi solicitada ao matemático alemão Karl Friedrich Gauss (1777-1855) que, com base em três observações de Piazzi, calculou, com êxito, a órbita circular do objeto, descrita num período de 1680 dias. O objeto foi batizado com o nome de Ceres, deusa grega. A esse novo corpo, que por sua dimensão não seria considerado um planeta, Herschel sugeriu o nome de "asteroide" (parecido com estrela), que passou a ser adotado. Hoje em dia, ainda que continue popular, a designação de asteroide tem sido criticada, preferindo muitos astrônomos chamar tais corpos de planetoides ou planetas menores. Quando Piazzi morreu, já eram conhecidos um total de quatro asteroides: Ceres (1801), Palas (1802), Juno (1804) e Vesta (1807); um quinto asteroide (Astreia) foi descoberto em 1845. Atualmente, estão catalogados mais de 3 mil planetoides, sendo Ceres o maior de todos, com um diâmetro de cerca de 800 km.

O astrônomo Giuseppe Piazzi (1746-1826) era monge, foi professor de Teologia e de Matemática. Fundou, em 1787, o Observatório de Palermo, e foi diretor dos Observatórios de Nápoles e Palermo. Piazzi preparou um catálogo de posições de 7.646 estrelas, no qual argumentou que era regra geral, e não exceção, o movimento próprio das estrelas, observado pela primeira vez por Halley. Descobriu o movimento da estrela binária "Cisne 61", cuja paralaxe seria calculada por Bessel.

O alemão Johann Elert Bode (1747-1826) demonstrou, desde cedo, grande interesse pela Astronomia, tendo criado, em 1774, o *Anuário Astronômico*. Diretor do Observatório de Berlim, em 1786, publicou, em 1801, um grande catálogo, *Uranographia*, com 20 mapas de estrelas e as posições de 17.240 estrelas.

O alemão Heinrich Wilhelm Olbers (1758-1840) era tão dedicado à Astronomia que chegou a transformar sua casa num observatório. Interessado em cometas, desenvolveu Olbers, em 1797, um método para

356 VERDET, Jean-Pierre. *Uma História da Astronomia.*

determinar suas órbitas, que é utilizado até hoje. Descobriu cinco cometas (um deles recebeu seu nome), e, ainda, os asteroides Palas e Vesta, cuja origem atribuiu à explosão de um planeta de tamanho médio.

Friedrich Wilhelm Bessel (1784-1846)[357], ainda jovem, reavaliou (1804) a medição da órbita do cometa Halley, o que impressionou Olbers, a ponto de lhe conseguir um posto de trabalho. Em 1810, foi encarregado, por Frederico Guilherme II, da Prússia, de supervisionar as obras do Observatório de Königsberg, do qual seria Diretor até sua morte. Em 1818, elaborou um catálogo com a posição de mais de 50 mil estrelas, e concebeu um método de Análise que envolvia o que até hoje se chama "funções de Bessel". Foi o primeiro a determinar a paralaxe de uma estrela, a "Cisne 61", descoberta por Piazzi. Seu cálculo de distância da estrela, de seis anos-luz (cerca de 56 trilhões de km) contribuiu para o novo entendimento das dimensões gigantescas do Universo. Com a descoberta de Bessel, a atenção futura dos astrônomos deixará de se limitar ao Sistema Solar para incluir o espaço sideral.

6.12.3 Mecânica Celeste

A Física e a Cosmologia de René Descartes, adotadas na França e em vários países do continente europeu, foram empecilhos para a aceitação imediata da Mecânica Celeste de Newton. O comprometimento dos meios intelectuais desses países com os ensinamentos de Descartes era tão profundo que a mera divulgação e defesa da teoria da gravitação universal, no opúsculo de Voltaire, intitulado *Cartas sobre os Ingleses*, de 1734, criaria uma grande celeuma, a ponto de a obra ter sido proibida, e seu autor ter de se refugiar no Ducado da Lorena. A comprovação da forma da Terra (esfera achatada nos polos), após as expedições de 1736/37, o retorno, como previsto, do cometa Halley, em 1758/59, e o falecimento do secretário perpétuo da Academia de Ciências, Bernard de Fontenelle, ardoroso cartesiano, seriam alguns fatores determinantes da adoção, ainda que tardia, na França e em outros países do continente europeu, das teorias newtonianas. À medida que matemáticos e astrônomos esclareceram dúvidas e pontos obscuros, e apresentaram comprovação da teoria newtoniana, a obra *Princípios Matemáticos da Filosofia Natural* passou a representar o marco da criação da Mecânica Celeste[358].

Os primeiros estudos do início do século XVIII no campo da Mecânica Celeste foram dedicados aos movimentos dos cometas e da

[357] GRIBBIN, John. *Science, a History.*
[358] TATON, René. *La Science Moderne.*

Lua, corpos celestes que, desde a Antiguidade, atraíam a atenção, dos astrônomos e a imaginação popular.

O astrônomo inglês Edmond Halley (1656-1742)[359], amigo e colaborador de Newton, membro da Sociedade Real e o segundo Astrônomo Real, em 1720, ao suceder John Flamsteed, desenvolveu um amplo trabalho em sua longa carreira. Dentre suas contribuições devem ser mencionadas sua observação da passagem de Mercúrio (1677); a preparação do primeiro catálogo de estrelas do Hemisfério Sul (*Catalogus Stellarum Australium*), em 1679; a descoberta da origem magnética das auroras polares; e a demonstração, em 1718, de que pelo menos três estrelas (*Sirius*, *Procion* e *Arcturius*) haviam mudado de lugar, desde o tempo dos gregos, o que evidenciava terem as estrelas movimentos próprios, os quais, devido às suas grandes distâncias da Terra, eram imperceptíveis, desde o planeta. Halley tornou-se famoso por seus estudos sobre os cometas. Em suas pesquisas, notou a semelhança dos movimentos do cometa de 1682 com os de 1456, 1531 e 1607, cujo intervalo de tempo de aparição (76 anos) indicava tratar-se do mesmo corpo celeste, de órbita elíptica muito alongada, porém fechada[360]. Em 1705, Halley previu a volta do cometa em 1758, o que aconteceu efetivamente, no dia de Natal. O acerto do cálculo, apesar do pequeno atraso, devido às interferências gravitacionais de Saturno e Netuno, estudadas por Clairaut e Lalande, demonstrava a correção da teoria gravitacional newtoniana. Esse cometa, conhecido com o nome de Halley, retornaria em 1835, 1910 e 1986.

Halley constatou, em 1693, ao comparar as datas dos eclipses conhecidos desde a Antiguidade, que o movimento da Lua em torno da Terra se acelerava. O efeito era preocupante, pois a resultante modificação da posição do satélite implicava uma diminuição de sua distância à Terra, o que poderia levar a uma colisão. As perturbações orbitais seriam objeto de diversos estudos no século XVIII, como pelo astrônomo alemão Johann Tobias Mayer (1723-1762), e por Clairaut, D'Alembert e Lagrange, sem, contudo, apresentarem uma resposta adequada para o fenômeno denominado de "aceleração secular da Lua".

Os intrigantes fenômenos da "precessão dos equinócios" e da "nutação do eixo terrestre" requeriam, para seu entendimento, a contribuição de cálculos, que só poderiam ser elaborados por matemáticos. D'Alembert seria o primeiro a explicar, em 1749, o fenômeno, que continuaria a ser estudado, inclusive, por Laplace e outros astrônomos. O equinócio é o ponto da esfera celeste em que ocorre a intersecção da

---

[359] GRIBBIN, John. *Science, a History.*

[360] ROUSSEAU, Pierre. *Histoire de la Science.*

eclíptica com o equador, correspondendo o "Equinócio da primavera" (março) à passagem do Sol do hemisfério sul para o do norte, enquanto o "Equinócio de outono" (outubro) é o inverso. A precessão do equinócio consiste no movimento retrógrado sobre a elíptica. O movimento ao longo da elíptica, na direção oeste, é causado pela ação perturbadora do Sol e da Lua sobre a dilatação equatorial da Terra e dos planetas sobre o plano da órbita terrestre[361]. A "precessão dos equinócios" é, assim, um movimento de recuo dos equinócios. O termo "precessão" se refere à parte secular do movimento, enquanto a parte periódica mais curta do período denomina-se "nutação", que, em Astronomia, significa "o movimento oscilatório do eixo terrestre, que se efetua em cerca de 18,6 anos, provocado pelo efeito combinado das atrações gravitacionais do Sol e da Lua sobre a Terra", conforme a definição no *Dicionário Houaiss da Língua Portuguesa*.

O matemático, físico e astrônomo francês Pierre Simon Laplace (1749-1827) se tornou famoso por seus importantes trabalhos a respeito da estabilidade e equilíbrio do Sistema Solar, por meio da aplicação da teoria gravitacional de Newton aos desvios observados nas órbitas teóricas dos planetas. Com base em seus estudos, desenvolveria Laplace o conceito de evolução no Universo físico.

Suas pesquisas datam de 1773, sobre o problema dos aparentes encolhimento e aumento das órbitas, respectivamente, de Júpiter e de Saturno. Dado que a mútua interação gravitacional dentro do Sistema Solar era tão complexa que o conhecimento matemático da época era insuficiente para uma solução científica, Newton concluiu que seria necessária uma intervenção periódica do Criador para preservar o equilíbrio do Sistema. Nesse ano (1773, mas publicado em 1776), Laplace apresentaria à Academia de Ciências sua primeira *Memória sobre Mecânica Celeste*, intitulada *Sur le Principe de la Gravitation Universelle et sur les Inegalitées des Planètes qui en dependent*, no qual examinou as quatro proposições de Newton[362]: i) a atração estaria na razão direta da massa e na razão inversa do quadrado da distância. Desconhecida a causa dessa força, não se poderia dar-lhe uma razão física, nem submetê-la à experiência, pelo que Laplace argumentaria "ser natural" que as Leis da Natureza assegurassem a manutenção do Sistema, em que as dimensões aumentariam e diminuiriam proporcionalmente; ii) a força atrativa de um corpo seria resultado da atração de cada uma das partes que o compõe. Para alguns fenômenos mal conhecidos, apesar do trabalho de D'Alembert sobre a precessão dos equinócios e a nutação do eixo terrestre, subsistiriam algumas dúvidas;

[361] MOURÃO, Rogério. *O Universo.*
[362] VERDET, Jean-Pierre. *Uma História da Astronomia.*

iii) essa força se propagaria em um instante do corpo que atrai àquele que é atraído. Desconhecida a natureza da gravitação, Laplace admitiria dúvida sobre a "instantaneidade" dessa comunicação, tanto mais que já se sabia ser sucessiva a transmissão da luz, e não instantânea; iv) essa força de atração agiria da mesma forma sobre os corpos em repouso e em movimento. Mesma dúvida que a anterior, pois ao agir da mesma forma, a velocidade da ação seria infinita. No final do estudo, Laplace concluiria pela "invariabilidade da velocidade angular média", o que significava o primeiro passo na demonstração da "estabilidade do Sistema Solar".

Laplace prosseguiria em suas pesquisas sobre diversos aspectos do Sistema Solar, como a precessão dos equinócios, nutação do eixo terrestre, marés e oscilações da atmosfera ocasionadas pela ação do Sol e da Lua. Sua atividade na década de 70 foi intensa, com i) um suplemento sobre a forma da Terra na *Pesquisas sobre o Cálculo Integral e o Sistema do Mundo*, de 1772; ii) sua *Memória sobre a inclinação média das órbitas dos cometas sobre a forma da Terra e sobre suas funções*, de 1773; e iii) em *Pesquisas sobre diversos aspectos do Sistema do Mundo*, de 1775 e 1776[363].

A explicação científica para as perturbações nas órbitas planetárias e a aceleração secular da Lua (descoberta por Halley) se impunha para a aceitação e comprovação da estabilidade e do equilíbrio do Sistema, ou, em outras palavras, como demonstrar que tais perturbações e excentricidades não afetavam a estabilidade e equilíbrio do Sistema Solar. A questão viria a ser, inicialmente, estudada, em conjunto, por Lagrange e Laplace[364]. Duas espécies de perturbações foram consideradas: uma periódica e outra secular. A perturbação periódica determinaria uma órbita planetária que variaria igualmente, em uma direção, e depois na direção oposta, sem que houvesse modificação permanente ao longo do percurso; a perturbação secular causaria uma variação cumulativa numa única direção, o que levaria ao rompimento da órbita, ao final da trajetória planetária. O estudo Lagrange/Laplace concluiria que, no Sistema Solar, as perturbações não eram seculares, pois calculavam que a excentricidade total devia permanecer constante, uma vez que todos os planetas orbitam na mesma direção. Se um planeta aumentasse a excentricidade de sua órbita, o outro deveria diminuir sua própria excentricidade de maneira semelhante, para manter o equilíbrio.

A explicação seria dada por Laplace, em 1787, 100 anos depois da publicação do *Principia*, numa sessão da Academia de Ciências. A variação da distância média da Terra ao Sol repercutiria na distância média da Lua

[363] VERDET, Jean-Pierre. *Uma História da Astronomia.*
[364] ASIMOV, Isaac. *Gênios da Humanidade.*

ao Sol, pois o movimento médio da Lua é, em parte, função desta distância. Tratava-se, assim, de uma perturbação periódica, de pequena amplitude, devido às perturbações planetárias da órbita terrestre, ocasionadas pela ação do Sol e da Lua. A velocidade angular média da Lua se aceleraria à medida que a órbita da Terra se torna mais circular, mas quando ocorre o inverso, o movimento lunar se retardaria. Desta forma, essa desigualdade, periódica, não ocorreria num processo cumulativo. Sendo o período muito longo, de milhares de anos, o fenômeno continuaria praticamente uniforme, ou seja, a aparente aceleração do movimento da Lua era um movimento autocorrigível, pois a aceleração se invertia a cada 24 mil anos. A mesma constância manteria a órbita planetária inclinada em relação ao plano da elíptica. Interessante sublinhar que, apesar de estar correto quanto à causa mecânica do fenômeno (a aceleração do movimento lunar dependia da excentricidade da órbita da Terra), seu cálculo, porém, estava errado; a concordância era devida apenas a um erro de princípio nos cálculos[365]. Ainda que as observações dos eclipses solares indicassem uma aceleração de 24" por século, cálculos posteriores do astrônomo inglês John Couch Adams (1819-1892) mostravam que aceleração seria de apenas 12" por século. Essa discrepância se deve à imperfeição da rotação da Terra.

As anormalidades dos movimentos de Netuno e Saturno, já observadas, mas não explicadas, por Newton, resultariam, igualmente, de suas interações gravitacionais, que se autocorrigem, conforme as demonstrações de Laplace, com base nos estudos matemáticos de Lagrange. As órbitas planetárias continuariam sempre pequenas, constantes e autocorrigíveis, sendo, portanto, periódicos, e não cumulativos, os efeitos das perturbações observadas. As desigualdades nos movimentos de Júpiter e Saturno (aceleração e desaceleração, respectivamente), eram consequentemente, periódicas, não cumulativas. Laplace assinalaria que as irregularidades se corrigiriam automaticamente, pois "da mera consideração de que os movimentos dos planetas e satélites se realizam em órbitas quase circulares, na mesma direção e em planos infimamente inclinados entre si, segue-se que o sistema oscilará em torno de um estado intermediário do qual somente se desviará em quantidades muito pequenas".

Com esses vários trabalhos, Laplace, além de confirmar a Teoria da Gravitação de Newton, afastaria definitivamente a ameaça de instabilidade na descrição teórica do Sistema Solar, convencido da estabilidade e equilíbrio do Sistema Solar, verdadeira máquina que se regulava automaticamente.

---

[365] VERDET, Jean-Pierre. *Uma História da Astronomia.*

Em 1796, Laplace publicaria o *Exposition du Système du Monde*, no qual já apresentaria uma primeira consolidação de seus trabalhos anteriores sobre Mecânica Celeste, resumiria o conhecimento astronômico da época e elaboraria sua famosa cosmogonia. Sua principal obra seria, contudo, o extraordinário *Tratado de Mecânica Celeste*, em cinco volumes, publicado de 1798 a 1827, no qual se propôs Laplace a consolidar os fundamentos filosóficos e empíricos da Teoria da Gravitação e a estabelecer sua universalidade, aplicando-a aos movimentos e às formas dos astros e aos movimentos celestes e terrestres. Laplace, na explicação, demonstração e defesa da Mecânica Celeste, foi além do próprio Newton, que reconhecia a instabilidade do Sistema e, por conseguinte, a necessidade de periódicos ajustes, a intervalos de tempo muito longos, para evitar seu colapso, o que seria a tarefa do Criador; em consequência, uma gravitação incapaz de manter a ordem do Mundo não podia, tampouco, explicar a origem do Universo[366]. Dispondo de um cabedal de conhecimento matemático, inexistente no final do século XVII, Laplace argumentaria que as Leis da Gravidade e da Mecânica Celeste asseguravam a estabilidade e o equilíbrio do Sistema pela autocorreção, pois "as leis que conservam a ordem são também capazes de criá-la", o que, adicionalmente, dispensaria a metafísica newtoniana.

6.12.4 Teorias Cosmogônicas – Cosmologia

Embora aceita, sem questionamento, a versão bíblica da "criação" do Universo, alguns poucos cientistas se aventuraram, no século XVIII, a especular sobre sua formação. Duas teorias cosmogônicas não metafísicas, uma de um cientista e outra de um filósofo, já foram adiantadas, em meados do século XVIII, mas sem grande repercussão.

O naturalista Georges Louis Leclerc Buffon (1708-1788) interessou-se pela História da Terra e sua evolução. Ao contrário do que era aceito sem questionamento, Buffon seria o primeiro a propor uma idade para a Terra (75 mil anos) e para a vida no planeta (40 mil anos) diferente do limite bíblico de seis mil anos para a Criação. Buffon sugeriria, em 1745, que uma colisão catastrófica de um cometa com o Sol esparramara uma torrente de matéria que acabara por se reunir em diversos globos relativamente grandes e a distâncias diferentes desse grande astro central. Tais globos, tornados opacos e sólidos pelo resfriamento, constituíram os atuais planetas e satélites[367].

[366] VERDET, Jean-Pierre. *Uma História da Astronomia.*
[367] BARBOSA, Luiz Hildebrando Horta. *História da Ciência.*

O filósofo Immanuel Kant, em seu opúsculo *História Natural do Universo e Teoria Celeste*, de 1755, apresentaria uma Cosmogonia[368] mais elaborada e mais completa que a de Buffon, pelo que sua teoria é considerada como pioneira neste campo. O espaço era, inicialmente, uma mistura de todos os elementos que compõem os astros, mas sob a forma de gases extremamente tênues. De acordo com a Mecânica de Newton, as várias partículas se atraíam e formavam, lentamente, pequenos núcleos de condensação material, devido à gradual e crescente instabilidade interna do sistema. Assim, por todo o espaço, elementos de densidade diversa sofriam ação dos núcleos de condensação, e deles se aproximavam, chocando-se os elementos mais densos no percurso com os elementos menos densos. Originavam-se, assim, movimentos irregulares que se iriam regularizando, estabelecendo o caminho de menor resistência para as partículas. Após longo interstício, as partículas começaram a se mover na mesma direção. Pelo acúmulo de matéria, em um dado ponto formou-se o Sol, que se deixou arrastar pelo movimento de rotação geral. As partículas em circulação, situadas entre dois planos paralelos ao equador solar, possuindo velocidade capaz de contrabalançar a atração do núcleo solar, descreviam circunferências concêntricas a esse núcleo e praticamente se encontravam em repouso umas em relação às outras, pois se moviam na mesma direção. Daí se formariam novas pequenas condensações de matéria, gradualmente crescentes e com movimento circular comum ao conjunto. Esses centros secundários teriam dado origem aos planetas. A repetição do processo ao redor dos planetas fez surgir os satélites.

Ainda nessa obra, Kant sugeriu que a Via Láctea teria uma forma lenticular, que existiriam outras "ilhas-universo" semelhantes ao nosso, e que a fricção das marés desacelerava a rotação da Terra (hipótese comprovada posteriormente), que por sua vez diminuiu o tempo de rotação da Lua até coincidi-lo com sua revolução sideral, o que explicaria a Lua estar sempre com a mesma face iluminada voltada para a Terra.

O primeiro trabalho, baseado estritamente em considerações de ordem científica, para explicar a formação do Sistema Solar, seria o do matemático e físico francês Pierre Simon Laplace.

De suas pesquisas e estudos, constatara Laplace que os planetas se moviam na mesma direção em torno do Sol, em órbitas praticamente no mesmo plano, e, mais, que o Sol, os sete planetas e os 14 satélites se moviam na mesma direção, achando-se todos estes corpos celestes muito próximos, em comparação com suas distâncias para as estrelas mais próximas. Tal posicionamento não podia ser por acaso, pelo que

[368] MOURÃO, Rogério. *O Universo.*

deveria haver uma explicação científica, sem recurso à Metafísica. Na obra *Exposition du Système du Monde* (1796), Laplace apresentaria sua célebre "hipótese da Nebulosa", atribuindo a origem do Sistema Solar ao resfriamento e contração de uma nebulosa gasosa.

Na sua obra, Laplace ignorou a cosmogonia kantiana e mencionou apenas o trabalho de Buffon como o único anterior ao seu. A repercussão da "Teoria da Nebulosa" de Laplace seria imensa em toda a Europa, tornando sua Cosmogonia muito popular no século XIX, o que serviria, igualmente, para divulgar e tornar muito conhecida, também, a parte principal da obra, ou seja, a relativa à demonstração da Mecânica Celeste de Newton. A ausência de explicações metafísicas em sua Cosmogonia/Cosmologia não impediria que a obra de Laplace gozasse de grande popularidade, embora sem apoio da comunidade científica. Consta que, indagado por Napoleão por que não mencionara Deus em sua obra, Laplace teria respondido não necessitar de tal hipótese para explicar o Universo.

Segundo Laplace[369], o Sistema Solar nasceu da condensação de uma massa nebulosa e esférica, a qual se estendia no espaço e girava em redor de si, com a mesma velocidade angular, em movimento de rotação de oeste para leste em torno de um eixo. Essa massa, de grande teor Calorífico, teria sofrido um processo de resfriamento, que determinou a lenta redução de seu volume. De acordo com as leis da Mecânica, quando a velocidade de rotação de uma massa gasosa aumenta, também aumenta a força centrífuga e achatam-se os dois polos. Essa força, ao atingir, na zona equatorial, a suficiente intensidade para equilibrar a força centrípeta, provocou a separação de um anel do resto da massa, o qual continuou a girar livremente no sentido da rotação inicial. Outros anéis semelhantes, concêntricos uns em relação aos outros, se formaram deixando no centro um Globo, o Sol. Não sendo da mesma espessura e não tendo suas partículas a mesma velocidade, cada anel se fragmentaria; os fragmentos se reuniriam num Globo ou planeta, que seria animado de movimento em torno do Sol e de movimento de rotação, sempre de oeste para leste. Em consequência, cada planeta, em seu movimento de rotação, daria origem a fenômenos análogos aos que haviam ocorrido na massa primordial. Os anéis assim formados dariam, por sua vez, origem aos satélites, que se moveriam ao redor do planeta, de oeste para leste. Caso especial seria Saturno, em que um de seus anéis, pela homogeneidade excepcional, conservou essa forma e não se converteu em satélite.

---

369 MOURÃO, Rogério. *O Universo.*

6.13 Física

A Física, no século XVIII, não se constituía, ainda, em uma "Ciência", na acepção Moderna do termo. Os fatos em si não constituem a Ciência, que consiste na sistematização dos fatos segundo leis gerais. Seus vários ramos atuais constitutivos, referentes aos diversos fenômenos físicos (como Calor, Eletricidade, Som, Luz, Energia) não se encontravam estruturados, e, em alguns casos, nem estavam sob exame; o conhecimento da época era esparso, precário e bastante incipiente. A Mecânica, recém-formada (Galileu, Newton), era, na realidade, a única área razoavelmente conhecida e estruturada, uma vez que a própria Óptica se encontrava, ainda, em fase incipiente de formulação de alguns princípios e de definição das propriedades da luz. Nascida sob a égide da Matemática, a Mecânica se desenvolveria com os estudos e pesquisas de matemáticos (Galileu, Descartes, Huygens, Newton, Euler, Bernoulli, Lagrange, Clairaut e outros) e estaria intimamente ligada ao progresso em "outros" ramos da ciência matemática (Álgebra, Geometria, Cálculo).

Esse vínculo era tão forte e evidente que Diderot colocou a Mecânica como um ramo da "Matemática mista", em sua classificação do "Sistema dos Conhecimentos Humanos", e Lagrange, no prefácio de sua *Mecânica Analítica*, escreveria que "os que gostam de Análise verão com prazer a Mecânica tornar-se um novo ramo, e me felicitarão por ter-lhes ampliado desta forma o domínio". A Mecânica era, assim, antes de tudo, um exercício matemático, com o propósito de explicar e comprovar, matematicamente, por meio de leis que regulam, e equações que demonstram, os fenômenos físicos.

Desta forma, não existia, no século XVIII, a "Física" como um conjunto de ramos de conhecimento dos fenômenos físicos, mas pesquisas e estudos, isolados e dispersos, a respeito desses diferentes fenômenos. A integração dos diversos ramos (Termodinâmica, Acústica, Eletromagnetismo, Óptica, Mecânica, etc.) no que se denominaria "Física" só se daria no século XIX, no momento em que todo esse conjunto de conhecimento dos fenômenos físicos alcançasse um grau de formulação teórica e de demonstração experimental, capaz de permitir a estruturação e a integração desses diversos ramos.

Para simplificar e facilitar a exposição do desenvolvimento das pesquisas e estudos desses diversos fenômenos físicos no século XVIII, convencionou-se agrupá-los como integrantes de uma "Ciência física", o que foi aqui adotado, pelo que era necessária esta explicação prévia.

A evolução da Física no século XVIII teve características bastante distintas das que prevaleceram no século precedente. No século XVII,

formou-se a base conceitual e metodológica da Mecânica, chamada por Galileu de "nova Ciência", fruto de uma nova concepção, oposta à "Física" aristotélica/escolástica. Essa nova Ciência, utilizando-se da Matemática para sua fundamentação teórica e sua experimentação, seria um dos principais motores do desenvolvimento de outras Ciências (Matemática, Astronomia) no século XVII, ao mesmo tempo em que serviria de modelo para futuras pesquisas e estudos em diversos campos dos fenômenos naturais, como a Óptica e o Magnetismo. A nova ciência seria aplicada a fenômenos terrestres e cósmicos (Mecânica Celeste), cujas leis e princípios seriam universais. Debates filosóficos sobre a estrutura da matéria (átomo) e do meio (vácuo) seriam fecundos e proveitosos, dominando o círculo intelectual da época e fazendo surgir um novo entendimento e melhor compreensão da Natureza. Correntes doutrinárias (empirismo, mecanicismo, racionalismo) e metodológicas (indução, dedução) influenciaram o processo evolutivo, enriquecendo o debate filosófico no âmbito da Física clássica. Galileu, Kepler, Descartes, Pascal, Huygens, Leibniz e Newton são os mais célebres filósofos/cientistas/matemáticos do século XVII, responsáveis pelas grandes linhas doutrinárias e teóricas da Física Moderna, as quais norteariam os trabalhos futuros.

Como explicaram Dugas e Costabel, "o Século das Luzes, que desenvolverá estas conquistas (método experimental, matematização), poderá ignorar as inquietações metafísicas dos criadores da Ciência clássica e reter apenas sua herança positiva. Em nenhuma outra parte, nos parece, esta situação é tão visível e tão nítida quanto na Mecânica"[370]. Na verdade, o debate filosófico e doutrinário perdeu, no século XVIII, sua intensidade e sua importância iniciais, dando lugar a pesquisas e trabalhos experimentais em diversas áreas, ainda não estruturadas, como a Acústica, a Eletricidade e o Calor. Os grandes pensadores do Século das Luzes (Hume, Diderot, D'Alembert, Condorcet, Kant), ainda que tenham contribuído para o avanço de ramos específicos da Ciência, tiveram uma preocupação abrangente muito mais ampla que seus antecessores, tanto pela crítica à Metafísica quanto pela vertente social de seus ensinamentos[371].

Duas noções, herdadas do período anterior, prosperariam no século XVIII. Na evolução das pesquisas dos diversos fenômenos físicos (Luz, Som, Calor, Magnetismo, Eletricidade), o "atomismo", ressurgido a partir das obras de Pierre Gassendi, continuaria objeto de especulação. A teoria de minúsculas partículas, duras e indivisíveis, constitutivas da matéria, era qualitativa, pois não estando sujeita a demonstrações, sua

[370] TATON, René. *La Science Moderne.*
[371] HANKINS, Thomas L. *Science and the Enlightenment.*

aceitação, ou rejeição, dependia, essencialmente, de inclinações filosóficas gerais. A formulação da teoria atômica, por John Dalton (1766-1844), apareceu no domínio da Química, pela descoberta, em 1803, da associação entre si de elementos químicos dependentes segundo múltiplos inteiros de pesos atômicos fixos.

O segundo conceito, derivado da ideia de "força viva" de Leibniz, seria o da "energia", ou a capacidade de produzir trabalho útil. Dos vários tipos de energia hoje conhecidos (solar, térmica, química, nuclear, elétrica, sonora, luminosa) as conhecidas ou desenvolvidas com sucesso seriam a térmica, utilizada nas máquinas a vapor, e a elétrica, num estágio muito inicial, no término do período. A contribuição do setor "energia" no fantástico desenvolvimento industrial europeu no século XIX teria origem, assim, nas pesquisas do século XVIII.

A Mecânica e a Acústica, pioneiras na investigação experimental, continuariam a ser objeto de estudos e pesquisas, registrando importantes progressos experimentais e teóricos. Os novos e incipientes ramos despertariam, também, crescente interesse, suscitando amplas e diversificadas pesquisas, com significativos avanços experimentais e conceituais; tais campos, porém, permaneceriam num estágio inicial de investigação e estudos, sem condições, ainda, de se estruturarem como ramos específicos e independentes de uma Física. O progresso registrado foi, de qualquer forma, decisivo, tanto mais por servir de começo, como no caso da Eletricidade, para um campo totalmente novo de pesquisa dos fenômenos naturais.

Os laboratórios de investigação se multiplicaram, o número de pesquisadores aumentou, estudos especializados foram incentivados, o Estado se interessou, e patrocinou experimentos e expedições, estabelecendo-se condições favoráveis ao estudo e pesquisa dos fenômenos físicos. A Grã-Bretanha e a França seriam os países na vanguarda dessas investigações.

A Física, no século XVIII, teve seu maior desenvolvimento a partir de meados do século, beneficiando-se de contribuições de engenheiros e técnicos, envolvidos em aperfeiçoamento e inovação de máquinas e instrumentos, agentes da Primeira Revolução Industrial[372]. O benefício foi mútuo. Newcomen, Papin, Savery e Amontons, numa primeira fase, e Arkwright, Watt, Dollond, Murdock, Fulton, Niepce, Whitney e Trevithick, na segunda fase deste período, são alguns desses inventores e inovadores que construíram, ao aplicar as novas noções científicas, as condições de desenvolvimento fabril e agrícola, de novas fontes de energia, de meios

[372] BERNAL, J. D. *Ciência na História.*

de transporte e de instrumentos de precisão, ao mesmo tempo em que se beneficiavam do avanço da pesquisa, ao evidenciar, com suas máquinas e aparelhos, as vantagens de uma indústria baseada em tecnologia e inovação. A cooperação do físico Joseph Black com o engenheiro Watt, no aperfeiçoamento da máquina a vapor, tem sido dada como exemplo desse benefício mútuo.

6.13.1 Mecânica

A Mecânica do século XVIII foi dominada pelos matemáticos, dedicados à complementação e à comprovação da Mecânica clássica, por meio de formulação matemática da teoria newtoniana[373]. O conhecimento da Mecânica se expandiria com a matematização de sua formulação. Assim, a Mecânica deste período, a exemplo da Matemática, seria desenvolvida pelos matemáticos continentais (suíços e franceses), dos quais os mais representativos foram Daniel Bernoulli, Euler, D"Alembert e Lagrange.

Daniel Bernoulli em sua *Hydrodynamica* (1738), que englobaria Hidrostática (equilíbrio dos líquidos) e Hidráulica (movimento dos fluidos), examinou as propriedades básicas (pressão, densidade, velocidade) do fluxo do líquido e elaborou o "princípio de Bernoulli", pelo qual a pressão de um líquido decresce à medida que a velocidade aumenta; Leonhard Euler em sua *Mechanica* (1736) inovou ao tratar a Dinâmica newtoniana com método analítico e na *Theoria Motus Corporum Solidorum seu Rigidorum* (1760) estudaria o movimento dos corpos sólidos, quando apareceriam, pela primeira vez, as equações diferenciais para exame do movimento de um corpo sólido em torno de um ponto fixo; Pierre-Louis Maupertuis enunciaria, em 1744, seu "princípio da menor ação" pelo qual, em todas as mudanças, a soma do produto de cada corpo, multiplicado pela distância que percorre e pela velocidade com que se move, é a menor possível; Alexis-Claude Clairaut, autor de *Théorie de la Figure de la Terre*, na qual tratou do equilíbrio da massa do líquido; Jean D'Alembert escreveu o famoso *Traité de Dynamique* (1743) no qual reduziu a dinâmica dos corpos sólidos à estática (princípio de D'Alembert), em que as ações e reações de um sistema interno dos corpos sólidos em movimento estão em equilíbrio. D'Alembert escreveria ainda o *Tratado do Equilíbrio e do Movimento dos Fluidos* (1744) com a intenção de construir uma mecânica dos fluidos a partir dos princípios da Dinâmica, a exemplo do que havia estabelecido para a mecânica dos sólidos; porém, em 1752,

[373] BEN-DOV, Yoav. *Convite à Física* .

pela *Ensaio de uma Nova Teoria da Resistência dos Fluidos*, se utilizaria da Hidrostática (como formulada por Clairaut) para chegar às equações gerais da Hidrodinâmica[374].

Joseph-Louis Lagrange com sua *Mechanica Analitica* (1788) é reputado como o grande teórico da Mecânica do século XVIII, e sua obra, como o coroamento dos estudos matemáticos, ao colocar a teoria dos sólidos e dos fluidos sob rigorosa base analítica. O livro significa um afastamento da tradição euclidiana, dada a ausência de diagramas na tabela. O próprio Lagrange, na introdução da primeira edição da obra, explicou seu significado:

> Já existem vários tratados de Mecânica, mas o plano deste é inteiramente novo. Proponho-me reduzir a teoria dessa Ciência, e a arte de resolver os problemas que a ela se referem a fórmulas gerais, cujo simples desenvolvimento dá todas as equações necessárias para a solução de cada problema. Espero que a maneira como tentei realizar esse objetivo não deixe a desejar. Além disso, esta obra teria outra utilidade: reunir e apresentar, sob um mesmo ponto de visa, os diferentes princípios encontrados até agora para facilitar a solução das questões de Mecânica e demonstrar a ligação e a dependência mútua delas, dando condições de ser julgada por sua justeza e seu alcance. Divido a obra em duas partes: a Estática, ou a teoria do equilíbrio, e a Dinâmica, ou a teoria do movimento; e cada uma delas tratará em separado dos corpos sólidos e dos fluidos. Não se achará figura alguma neste livro. Os métodos que exponho não exigem construções nem arrazoados geométricos ou mecânicos, mas unicamente operações algébricas, sujeitas a uma andadura regular e uniforme. Os que amam a Análise verão com prazer a Mecânica se tornar um novo ramo dela e me saberão feliz por ter desse modo estendido o seu domínio[375].

Baseando-se no princípio de D'Alembert, e após analisar sucessivamente os quatro princípios da Dinâmica: conservação das forças vivas (Huygens), conservação do movimento do centro de gravidade (Newton), conservação do momento ou princípio das áreas (Bernoulli, Euler) e princípio da menor quantidade de ação (Maupertuis), Lagrange elaboraria as equações gerais da Dinâmica[376].

Esta obra monumental de Lagrange[377] unificaria os vários princípios da Estática e da Dinâmica pelo uso do cálculo das variações. Utilizando-se do princípio das velocidades virtuais, na Estática, e do

[374] TATON, René. *La Science Moderne.*
[375] VERDET, Jean-Pierre. *Uma História da Astronomia.*
[376] DUGAS, René. *A History of Mechanics.*
[377] BARBOSA, Luiz Hildebrando Horta. *História da Ciência.*

princípio de D'Alembert, na Dinâmica, englobaria Estática e Hidrostática, bem como Dinâmica e Hidrodinâmica, reduzindo os problemas dinâmicos em estáticos, e, assim, por meio do cálculo das variações, sistematizaria a Mecânica de modo tão claro e elegante que Sir William Hamilton (1788-1856), seu seguidor, classificou-a de "verdadeiro poema científico".

6.13.2 Acústica

Os estudos, na Antiguidade, sobre o som, derivavam do interesse pela música, concentrando-se na emissão do som musical por uma corda vibrante, sem a preocupação em determinar as características e as propriedades do fenômeno. Explicam-se, assim, também, as pesquisas, na antiga Grécia, sobre audição e fonação e seus respectivos órgãos (ouvido e cordas vocais); nenhum progresso significativo em pesquisas nesta área ocorreu durante o Renascimento Científico.

Estudos e experimentos, no século XVII, por Galileu, Mersenne, Gassendi, Malebranche, von Guericke, Papin, Boyle, Hooke, Sauveur, Huygens, de la Hire e Newton, entre outros, permitiriam avanços mais significativos no campo da "Acústica" do que em outras áreas, o que redundaria na formação das bases científicas deste ramo da Física, antes, por exemplo, da constituição da Óptica e da Termodinâmica.

A possibilidade de se medirem os fatores do fenômeno sonoro (comprimento, diâmetro e densidade da corda, e a tensão a que estivesse submetida, bem como a resultante frequência das vibrações) e a influência da Mecânica, pela aplicação do método experimental, seriam, assim, decisivas no desenvolvimento dos estudos da Acústica. Os matemáticos Euler, Daniel Bernoulli, D'Alembert, Monge e Lagrange, entre outros, equacionariam e desenvolveriam fórmulas para a teoria das cordas vibrantes, das barras, dos sinos, das placas, criando formulações quantitativas que regulam a emissão do som.

Os estudos não se limitariam à teoria e a formulações matemáticas, mas seriam complementados por verificação experimental. As pesquisas sobre a propagação do som nos meios gasoso, líquido e sólido, uma vez que já estava estabelecido que não se propagava no vácuo, esclareceriam importantes pontos inexplorados no século precedente. O papel do "som harmônico" no timbre do som, já estudado por Sauveur, seria retomado pelo músico Jean Philippe Rameau (1683-1764), em 1726, e pelo geômetra Gaspard Monge, em 1780, mas a descoberta seria creditada, no século XIX, a Hermann Helmholtz (1821-1894). Em 1755, Daniel Bernoulli demonstraria

teoricamente o “princípio da superposição”, relativo à presença, simultânea, de vários “harmônicos”, e Joseph Lagrange, em 1759, apresentaria um modelo teórico das cordas vibrantes (linha sonora), que permitiria a dedução dos harmônicos observados por Sauveur. Ainda em 1759, na publicação dos princípios da dinâmica dos fluidos, Euler deduziria a “equação de onda”, unidimensional, da propagação sonora em fluidos.

Quanto à velocidade do som no meio gasoso, a Academia de Ciências de Paris formou uma Comissão, integrada por Jean Cassini (1677-1756), Jean Dominique Maraldi (1709-1788) e Nicolas Lacaille (1713-1762), que, em 1738, apresentou um trabalho com a estimativa de 387 metros por segundo, bastante mais próxima do cálculo atual que os valores achados por Mersenne, Gassandi, Borelli e Viviani, no século anterior. O químico e físico inglês Joseph Priestley (1733-1804), em suas pesquisas sobre combustão e respiração, estabeleceria, em 1779, que a intensidade do som transmitido por um gás seria proporcional à sua densidade e determinaria a densidade relativa de vários gases, por meio da pesagem de balões cheios, cada um, de diferentes gases[378].

O físico alemão Ernst Chladni (1756-1827), formado em Direito pela Universidade de Leipzig, interessado em Acústica desde 1786, pesquisou a velocidade do som: encheu os tubos de um órgão com gases diversos, e pela altura da nota emitida por esses tubos, media a velocidade do som, dependente da mobilidade das moléculas do gás, em função de sua densidade, em cada um dos tubos. Comprovaria Chladni que a velocidade da propagação decrescia com o aumento da densidade do gás, sendo maior, por exemplo, no hidrogênio do que no ar, e maior neste do que no gás carbônico, o que já fora deduzido, matematicamente, por Newton e completado por Laplace[379].

Acreditava-se, então, na impossibilidade da propagação do som no meio líquido, pela simples razão de que sua incompressibilidade tornaria impossível a vibração das moléculas, e, por conseguinte, da emissão da onda sonora. O abade Jean Antoine Nollet (1700-1770), dedicado particularmente aos fenômenos elétricos, fez uma famosa experiência, em 1743: mergulhou nas águas do rio Sena para descobrir se a água conduzia ou não o som; verificou Nollet[380] ser possível ouvir o som, ainda que com uma intensidade modificada. Etienne Perolle (1760-1838) concluiria, em 1791, que o som era conduzido mais longe pelo líquido do que pelo ar, e Chladni pesquisaria, igualmente, a propagação no meio líquido, ainda que nenhuma medição válida fosse obtida.

---

[378] TATON, René. *La Science Moderne.*

[379] BARBOSA, Luiz Hildebrando Horta. *História da Ciência.*

[380] ROUSSEAU, Pierre. *La Science Moderne.*

Chladni anunciaria que, em suas pesquisas, cobrira, com uma camada de areia, finas placas metálicas de diferentes formas, as quais, quando vibradas, formavam: i) figuras com a areia, evidenciando a existência de "linhas nodais", imóveis e não vibrantes, e ii) áreas onde a vibração sonora da placa fazia os grãos de areia saltarem. As linhas, chamadas de "figuras de Chladni", causaram sensação na época, a ponto de seu pesquisador ter feito uma demonstração pessoal a Napoleão, em 1809, que, de imediato, ofereceu um prêmio a quem desenvolvesse uma teoria matemática para as placas vibrantes. O prêmio foi atribuído, em 1815, a Sophie Germain (1776-1831), que deduziu a correta equação diferencial de 4ª ordem.

Em 1808, Jean Baptiste Biot (1774-1862) efetuou as primeiras experiências para determinação da velocidade do som em meios sólidos (utilizou um cano de ferro de 1 km de extensão), chegando à conclusão de que a velocidade do som no ferro era bem superior à velocidade no ar. Somente no final do século XIX, seriam estimadas as velocidades da propagação do som na água (1.453 metros por segundo) e no sólido (aço – 5 mil metros por segundo), bastante superiores à de 331 metros por segundo na atmosfera.

6.13.3 Calor

Desde a Antiguidade, já se sabia ser o Calor solar indispensável para a vida animal e vegetal e para a própria Terra (alternância das estações). O fenômeno do Calor esteve sempre associado ao fogo, cuja conquista, na Pré-história, seria determinante dos hábitos alimentares humanos e do desenvolvimento da cerâmica e da metalurgia, com reflexos fundamentais nas condições de vida das populações. O culto ao fogo, como entidade de adoração, seria uma prática usual entre os povos fetichistas.

Na Grécia antiga, o fogo seria considerado, pela doutrina de Empédocles, como um dos quatro "elementos" constitutivos do Universo. Aristóteles acrescentaria a essa doutrina os dois pares de qualidades fundamentais e contrárias (quente e frio, seco e úmido), cujas uniões não contraditórias corresponderiam aos quatro elementos: o fogo seria quente e seco; o ar, quente e úmido; a água, fria e úmida; e a terra, fria e seca. A concepção Empédocles/Aristóteles seria adotada, sem contestação, até o século XVII. A contração e a dilatação dos corpos pelo efeito da temperatura já era do conhecimento dos antigos, que, porém, não dispunham de meios para medi-la. A propriedade Calorífica do raio solar seria utilizada

por Arquimedes no célebre episódio da utilização de imensos espelhos refletores para queimar as velas das embarcações invasoras romanas.

A questão teórica da natureza do Calor, como a do Som, não teria a projeção e a importância com que foi tratado o fenômeno da luz, no século XVII. Nessas condições, não houve choques ou polêmica entre Escolas de pensamentos opostos, uma vez que as pesquisas se basearam, desde o início, no modelo experimental, sem grandes divagações conceituais. Assim, a oposição entre a teoria atomista da matéria e da substância (fluido de átomos) do Calor (Gassendi, Locke, Newton) e a do "calórico", fluido contínuo, sutil e imponderado, não prejudicaria as pesquisas experimentais em curso. De acordo com a primeira teoria, conhecida como "Teoria Mecânica do Calor" (Gassendi, Locke, Newton), o Calor seria uma vibração dos átomos da matéria, sendo a temperatura a intensidade dessas vibrações, e a transferência do Calor de um corpo para outro seria a propagação dessas vibrações; esta teoria viria a prevalecer a partir da segunda metade do século XIX. A teoria do "calórico", aceita pela maioria dos químicos, inclusive por Lavoisier e Bertholet, considerava o Calor um fluido sutil, que preencheria o interior dos corpos; a temperatura corresponderia à pressão ou à densidade do "calórico" contido num corpo, sendo a transferência de Calor de um corpo para outro um "escoamento" de calórico no sentido decrescente de sua pressão.

Esses antecedentes seriam altamente favoráveis para o avanço dos estudos sobre o Calor no século XVIII, quando se estabeleceriam as bases para o advento da Termodinâmica no século XIX. Os avanços técnicos na Termometria seriam significativos, e o debate sobre a natureza do fenômeno continuaria inconcluso, mas prevaleceria, a partir de meados do século XVIII, a noção do "calórico", fluido responsável pelo fenômeno térmico[381]. Importante, em relação à evolução dos estudos pertinentes ao Calor no século XVIII, é o esclarecimento da diferença entre Calor e temperatura, resultado das pesquisas de Joseph Black, e as conclusões dos experimentos de Benjamin Thompson, Conde de Rumford, contrárias ao "calórico", noção que seria abandonada somente após os trabalhos de James Prescott Joule sobre conservação de energia, e de James Clerk Maxwell sobre a Teoria Cinética dos Gases.

O fenômeno do Calor, como, aliás, dos demais fenômenos físicos e químicos, só começaria a ser objeto de estudos de caráter científico, com vistas a compreendê-lo para utilizá-lo em benefício do Homem, a partir da utilização do método experimental com abordagem matemática[382]. O desenvolvimento

---

[381] TATON, René. *La Science Moderne.*
[382] RONAN, Colin. *História Ilustrada da Ciência.*

e o uso da Matemática e dos instrumentos de precisão e de medição nas pesquisas possibilitariam o avanço inicial, em bases objetivas e positivas, no esclarecimento do fenômeno e na futura consequente descoberta das leis pertinentes. Assim, o conhecimento científico dependia do desenvolvimento prévio da instrumentação adequada para a medição do fenômeno, pelo que a Termometria era uma condição essencial para a aplicação do método quantitativo experimental com sua expressão matemática.

6.13.3.1 Termometria

A contribuição de Galileu, no particular, foi pioneira, ao aplicar o método experimental e ao criar a Termometria, como passos iniciais que permitiriam futuros avanços no terreno conceitual do Calor. A invenção do termômetro é atribuída, por muitos, a Galileu, apesar de Cornelius Drebel e Santorio Santorio serem, também, citados como possíveis inventores do instrumento, originalmente, "a ar", que, aquecido, movia a água numa haste com graus marcados. Posteriormente, seriam fabricados os termômetros "à água", por iniciativa da *Accademia Del Cimento*, mas que seriam abandonados, devido ao elevado grau de irregularidade de dilatação e ao elevado grau de congelamento. Para substituí-lo, foi desenvolvido um termômetro "à base de mistura de água e álcool", mas cujo ponto de ebulição era igualmente muito elevado. O termômetro, desenvolvido por Galileu e outros, ao longo do século XVII, teve uma aplicação imediata na Medicina, e, juntamente com o barômetro, na observação meteorológica, mas de pouca ou nenhuma utilização na pesquisa sobre o Calor.

Três escalas termométricas seriam criadas no período: a de Fahrenheit, de 1714, com um total de 180°, entre 32° como ponto de fusão e 212° graus como ponto de ebulição da água; a do naturalista René Reaumur (1683-1757), de 1730, com um termômetro a álcool, com 80°, entre 0°, ponto de congelamento, e 80°, ponto de ebulição da água; e a do astrônomo sueco Anders Celsius (1701-1744), publicada pela Academia de Ciências da Suécia, em 1742, com o ponto de ebulição em 0° grau e o de congelamento em 100° graus. O naturalista sueco Carl Linneu inverteria a escala (o que seria aceito) para torná-la coerente com os pontos de congelamento e ebulição da água. A escala de Celsius, aprovada pela Comissão de Pesos e Medidas da França, em 1794, ao tempo da adoção do sistema métrico, passaria a ser conhecida, também, como "centígrado" e adotada pela grande maioria da comunidade internacional, com exceção dos EUA e alguns países de língua inglesa, que ainda usam a escala de Fahrenheit.

Uma série especial de instrumentos de medição de temperatura para diversos fins científicos[383] seria desenvolvida e aperfeiçoada, como os termômetros, de Charles Cavendish (1757), James Six (1782) e Daniel Rutherford (1790), além dos pirômetros, de Pieter van Musschenbroek (1740), John Ellicott (1736), John Smeaton (1754), Lavoisier e Laplace (1781) e Jesse Ramsden (1785) para o estudo da dilatação térmica dos metais; Josiah Wedgwood, em 1782, construiria um pirômetro para a determinação da temperatura de forno de olaria.

Os trabalhos de Guillaume Amontons (1663-1705), que resultaram na fabricação de termômetros a ar (1702) e em duas *Memórias* sobre Termometria (1702/03) seriam pioneiros na noção de zero absoluto e na determinação da escala termodinâmica absoluta, fixada no século XIX. Os valores adotados por Amontons para o congelamento e ebulição da água – respectivamente, 52 ½° e 73° – (em "polegada" de mercúrio) permitiriam uma estimativa de zero absoluto em -239° C.

O físico francês Jacques Alexandre César Charles (1746-1823) repetiu o trabalho de Amontons, verificando (1778) que diversos gases apresentavam a mesma expansão quando submetidos a um mesmo aumento de temperatura. Charles foi capaz de estabelecer o grau de expansão: a cada grau centígrado de aumento de temperatura correspondia um aumento de volume da massa gasosa equivalente a 1/273 de seu volume a 0° C; a cada diminuição de temperatura de 1° C, correspondia uma contração de 1/273 do mesmo volume. Essa descoberta significava que, à temperatura de - 273° C, o volume do gás atingiria zero, e não poderia haver temperatura mais baixa. Charles não publicou suas experiências, mas comentou-as com Joseph Louis Gay-Lussac (1778-1850), que verificou, experimentalmente, em 1802, que os diferentes gases se expandem igualmente com a elevação da temperatura. Este princípio passou a ser chamado de "Lei de Gay-Lussac", e, às vezes, de "Lei de Charles". O matemático Johann Heinrich Lambert escreveu *Pirometria* (1779), na qual calcularia em -270,3° C o zero absoluto, valor bem próximo do cálculo atual de -273,2° C. Tal avanço foi possível graças ao conhecimento das propriedades térmicas dos gases, desconhecidas na época de Amontons[384]. O assunto seria tratado, no século XIX, pelo físico escocês Lorde Kelvin, que proporia a escala absoluta de temperaturas baseada no zero absoluto.

[383] TATON, René. *La Science Moderne.*
[384] TATON, René. *La Science Moderne.*

6.13.3.1.1 A Natureza do Calor e o Calórico

Quanto às teorias sobre a natureza do Calor, prevaleceria, no século XVIII, e primeira metade do século XIX, a do "calórico" sobre a "mecânica", com o apoio da quase totalidade dos químicos, inclusive Lavoisier. Os principais defensores da teoria mecânica seriam Daniel Bernoulli, que, em 1728 afirmara que o Calor provinha da vibração das moléculas dos corpos, e o matemático Euler, o físico Rudjer Boscovich (1711-1787) e o químico Pierre-Joseph Macquer (1718-1784), que sustentariam uma posição similar. Interessante notar que Lavoisier e Laplace publicariam, em 1784, uma *Memória sobre o Calor*, na qual enunciariam as duas teorias, sem tomar partido. A adesão de Lavoisier, com seu prestígio, explica, em parte, o sucesso da teoria do calórico. No "dossier" de 1784, preparatório de seu *Tratado de Química*, incluiria Lavoisier o "termógeno" (matéria-calor) e a "luz" entre os "corpos simples". Ao preparar, com Guyton de Morveau, Fourcroy e Bertholet, em 1787, uma lista revisada de corpos simples no quadro de estabelecimento de uma nova nomenclatura química, Lavoisier retiraria a luz, mas manteria aí o calórico. Em 1789, no *Tratado Elementar de Química*, escreveria que "...designamos a causa do Calor, o fluido eminentemente elástico que o produz, pelo nome de calórico"[385].

Benjamin Thompson (1753-1814), conhecido como Conde Rumford, pode ser considerado, com seu conterrâneo e contemporâneo Benjamin Franklin, um dos primeiros "cientistas" americanos[386]. Membro da Sociedade Real, construtor de canhões e especialista em pólvora, Rumford, em razão de seus conhecimentos na fabricação de canhões, seria crítico do calórico. Em Munique, em 1798, notou que os blocos de metal do canhão se tornavam incandescentes à medida que a broca utilizada (que girava movida por uma parelha de cavalos) os perfurava, de modo que estes tinham de ser resfriados à base de água. Observou que o metal e a broca continuavam aquecidos enquanto prosseguia a perfuração, a qual produzia Calor pela fricção. Depois de algumas horas, o aquecimento da broca tinha produzido suficiente Calor para ferver a água. Seria essa a primeira vez que se teria fervido água sem o auxílio do fogo. Rumford concluiria que

> tudo aquilo que um corpo qualquer, ou um sistema de corpos, isolado, é capaz de produzir ilimitadamente não pode ser uma substância material; a mim se me afigura dificílimo, senão impossível, formar uma ideia distinta de uma coisa que se desprende e se comunique no decurso dessas experiências, a não ser o movimento (citado por Ernest Trattner).

---

385 ROSMORDUC, Jean. *Uma História da Física e da Química.*

386 TRATTNER, Ernest. *Arquitetos de Ideias.*

Seu experimento consta da *Memória* apresentada à Sociedade Real em 1799, sob o título *Investigação de Fontes de Calor Desenvolvido pela Fricção*. Observara Rumford, também, que, se colocasse a mesma quantidade de água – líquida ou sólida – numa balança, não era possível perceber alteração no peso, confirmando, assim, a teoria de Joseph Black de que a água perderia Calor ao ser congelada, adquirindo-o ao ser fundida, sem alteração de peso. Provava, assim, Rumford, não ser o Calor uma espécie de matéria, o calórico, mas uma espécie de movimento, e que nenhum corpo ganha ou perde peso pelo fato de ser aquecido ou resfriado. As evidências apresentadas por Rumford não seriam suficientes, contudo, para impedir o progresso do conceito de calórico.

Deve-se consignar que o russo Mikhail Lomonosov (1711-1765) já havia defendido, antes de Rumford, a teoria de ser o Calor uma forma de movimento, mas seus escritos, em russo, não chegaram, na época, ao conhecimento dos físicos de outros países.

Bertholet distinguiria entre calórico radiante e calórico combinado, concluindo pela identidade da substância da luz com a do calórico; Biot, nas edições de 1816 e 1827 de seu *Tratado de Física*, consagraria uma parte inteira da obra ao calórico; e o próprio Sadi Carnot, pai da Termodinâmica, conservaria a hipótese do calórico em suas Reflexões *sobre a Potência Motriz do Fogo*[387]; a série trigonométrica de Fourier, exposta na *Teoria Analítica do Calor*, de 1822, seria, igualmente, utilizada como reforço da teoria ondulatória, pois formulou as equações que descrevem os fluxos de Calor por meio de diversas substâncias e desenvolveu técnicas matemáticas para resolver essas equações. O sucesso da teoria foi, também, em parte, devido à maior facilidade de cálculo de escoamento de fluidos ordenados que a determinação dos movimentos simultâneos de um grande número de partículas, e à aparente semelhança das modificações das propriedades da matéria sob a ação do Calor com certos processos químicos[388].

Ao final do período, o interesse pelas questões da natureza do Calor, da constituição molecular dos corpos e da relação entre o calórico e as moléculas materiais seria secundário na obra de 1822 do Barão Jean Baptiste Joseph Fourier (1768-1830), intitulada *Teoria Analítica do Calor*, marco no tratamento matemático da propagação do Calor pelas séries de seno e cossenos, hoje chamadas de "séries de Fourier". Professor de Matemática da Escola Politécnica, interessou-se Fourier por questões relacionadas com o Calor desde 1801, quando prefeito de Grenoble. Em 1807, apresentou à Academia de Ciências um trabalho sobre um problema prático da

---

[387] ROSMORDUC, Jean. *Uma História da Física e da Química.*

[388] BEN-DOV, Yoav. *Convite à Física.*

propagação do Calor em barras, chapas e sólidos metálicos, no qual fez a surpreendente afirmação de que "toda" função definida num "intervalo finito por um gráfico descrito arbitrariamente pode ser decomposta numa soma de funções seno e co-seno". O trabalho, julgado por Lagrange, Laplace e Legendre, foi rejeitado, mas a Academia criou um prêmio para o melhor estudo sobre a propagação do Calor, a ser outorgado em 1812. Fourier submeteu um trabalho revisado, que ganharia o prêmio, mas não foi recomendado para publicação nas *Memórias da Academia*[389]. Em 1822, publicaria um dos grandes clássicos da Matemática, a *Teoria Analítica do Calor*, que o faria, dois anos depois, Secretário da Academia, o que habilitaria a publicação do artigo de 1811. A série trigonométrica (série de Fourier) seria da maior utilidade nos estudos da Óptica, da Acústica, do Calor e da Eletricidade. Em sua obra, Fourier estudaria o fenômeno da "propagação" do Calor sob o duplo aspecto da "penetrabilidade" e da "permeabilidade".

6.13.3.1.2 Calor e Temperatura

Fundamental para o entendimento do fenômeno do Calor como forma de energia, para a compreensão futura dos princípios gerais de conservação de energia e para a fundação, no século XIX, do ramo específico da Física, a Termodinâmica, o estudo teórico pioneiro, em base experimental, na elucidação do fenômeno do Calor seria devido a Joseph Black; o químico e físico escocês estabeleceria a nítida distinção entre Calor e temperatura, e explicaria a diferente capacidade de armazenamento de Calor dos corpos de diferentes matérias, noções confusas até então.

Entendia-se que os corpos com a mesma temperatura estivessem com a mesma quantidade de Calor, ou seja, Calor e temperatura se equivaliam. O equívoco desse entendimento seria explicado por Black, ao verificar, à mesma temperatura, a sensação de mais quente num bloco de ferro que num bloco de madeira de mesmo volume, isto por sua maior capacidade de armazenamento de Calor. Atualmente, a Termodinâmica associa a propriedade de um corpo estar quente ou frio à noção de temperatura, e não à de Calor. A temperatura caracteriza o estado de um corpo num determinado momento, ao passo que o Calor é uma energia que se transmite de um corpo para outro. A temperatura é percebida pelos sentidos, enquanto o Calor é um conceito teórico que, permitindo a explicação de fenômenos físicos, se baseia em certas assimetrias, como

[389] EVES, Howard. *Introdução à História da Matemática.*

a do quente e frio[390]. A transferência espontânea do Calor ocorre sempre de corpo de temperatura mais elevada para o de menos elevada, jamais no sentido contrário; a transferência calórica ocorre até que os dois corpos atinjam a mesma temperatura, isto é, até o "equilíbrio térmico".

O físico, químico e médico escocês Joseph Black (1728-1799) nasceu em Bordéus, na França, mas com o regresso da família à Escócia, estudaria Medicina em Glasgow e Edimburgo, tendo, em ambas, lecionado Química. Gozou de excelente reputação como professor e médico, e deu contribuições importantes no campo da Química, em particular com suas pesquisas sobre o dióxido de carbono. Interessou-se pela Física a partir de 1764, especialmente sobre o fenômeno do Calor, sendo o primeiro a reconhecer a diferença entre quantidade e intensidade de Calor.

Observaria Black, em suas investigações, que se misturando pesos iguais de água a temperaturas diferentes, a temperatura da mistura seria a média das temperaturas das águas. Verificou, ainda, que ao misturar um quilo de gelo a 0° C com igual peso de água a 79° C o gelo se fundia, mas a temperatura final, ao invés de ser a média (39,5° C), continuava a 0° C. Esta constatação levou Black à descoberta do Calor latente, aquele necessário para provocar a mudança de estado, isto é, congelando-se, liquefazendo-se ou vaporizando-se, as substâncias absorvem, ou desprendem, quantidades determinadas de Calor, dependendo dos respectivos peso e natureza, e que, durante a mudança de estado físico, a temperatura se mantinha constante[391]. Quando o gelo era aquecido, derretia-se lentamente (mudança de estado), mas não havia mudança de temperatura (a neve e o gelo se derretem em água pela absorção de Calor, sem alteração de temperatura); o gelo, nesse caso, absorvia quantidade de Calor latente e aumentava sua quantidade de Calor, mas sua intensidade permanecia inalterada. Uma quantidade maior de Calor latente era necessária na ebulição para transformar a água em vapor.

Black verificaria, ainda, que corpos diversos de peso igual exigiam quantidades diferentes de Calor para que ocorresse a elevação de temperatura em 1° C. A água, por exemplo, necessitava cinco vezes mais Calor que o ferro e 30 vezes mais que o mercúrio para elevar a temperatura no mesmo número de graus. Em outras palavras, uma mesma quantidade de Calor pode provocar diferentes mudanças de temperatura em substâncias diversas. É o Calor específico ou a capacidade de um corpo absorver Calor. Tais descobertas, ou as noções de Calor latente e de Calor específico, significariam terrível golpe no conceito de calórico,

[390] BEN-DOV, Yoav. *Convite à Física.*
[391] BARBOSA, Luiz Hildebrando Horta. *História da Ciência.*

fluido imponderável, mas se enquadrariam na Teoria Cinética do Calor. Na evolução do conhecimento do fenômeno do Calor, Black ocupa, com justiça, um lugar de relevo, início de uma pesquisa científica sobre o tema.

6.13.3.1.3 Calor e Trabalho

Além do grande impacto no terreno teórico, as descobertas de Black teriam importantes e imediatas aplicações práticas, sendo a mais notável a empregada para o desenvolvimento das máquinas a vapor, que, ao torná-las economicamente viáveis, teria uma direta influência na eclosão da Primeira Revolução Industrial. Os resultados positivos da colaboração entre o cientista Black e o engenheiro Watt têm sido apontados como exemplo de mútuo benefício para a Ciência e a Técnica.

As experiências de Black impressionaram profundamente James Watt (1736-1819), mecânico e construtor de instrumentos científicos da Universidade de Glasgow[392], encarregado de construir um modelo da máquina a vapor de Newcomen. A demonstração de que a vaporização de uma pequena quantidade de água requeria grande quantidade de Calor indicava a Watt a necessidade de aperfeiçoamento da máquina de Newcomen, cujo baixo rendimento se devia à perda de vapor pela condensação no cilindro arrefecido, ou seja, o grande desperdício de energia decorria dos aquecimentos e resfriamentos alternados do cilindro. Instruído pelas considerações teóricas de Black sobre o Calor latente[393], Watt desenvolveria, em 1767, sua máquina a vapor. Para reduzir a perda de energia térmica, construiu Watt um condensador externo ao cilindro, no qual o vapor se condensava sem resfriar completamente o cilindro principal. Com isto, a quase totalidade do vapor servia para fornecer trabalho de forma mais eficiente, já que, com a mesma quantidade de vapor, sua máquina produzia muito mais trabalho do que a de Newcomen[394].

A máquina de Watt não só ratificava o Calor como fonte de energia, mas também demonstrava a correção das descobertas de Joseph Black, as quais, por sua vez, deram um substrato teórico ao desenvolvimento, agora, tecnológico.

---

[392] RONAN, Colin. *História Ilustrada da Ciência.*
[393] BERNAL, J. D. *Ciência na História.*
[394] BARBOSA, Luiz Hildebrando Horta. *História da Ciência.*

6.13.4 Óptica

As pesquisas no campo da Óptica haviam progredido bastante no século XVII, devido às contribuições, entre outras, de Galileu, Kepler, Hariot, Snell, Descartes, Voss, Fermat, Cavalieri, Grimaldi, Hooke, Malebranche, Gregory, Bartholin, Huygens, Römer e Newton, para uma compreensão dos fenômenos da propagação direta, da reflexão, da refração, da dupla refração e da difração da luz.

Se o entendimento sobre os diversos fenômenos físicos da luz progredia, inclusive com a formulação das respectivas leis, o campo da Óptica foi palco de um debate sobre a natureza da luz[395]. Duas grandes teorias se formaram, a este respeito, no século XVII, e que se alternaram na preferência dos cientistas. Pela teoria da emissão, de Newton, a luz seria uma substância independente que emanaria dos corpos luminosos, num fluxo de partículas que se deslocaria no espaço vazio, enquanto a teoria da ondulação, de Huygens, pressupunha um substrato (inodoro, invisível, imponderável) entre os corpos, o éter, de Descartes, cujo movimento ondulatório transportaria a luz.

A Óptica despertaria um grande interesse no século XVIII, inclusive entre intelectuais alheios ao assunto (Buffon, Goethe, Voltaire, Marat), o que viria a complicar o exame desses fenômenos. O "contraste radical entre as metafísicas científicas"[396] de Huygens e de Newton sobre a natureza da luz determinaria uma alternância de preferência; no século XVIII, devido, em boa parte, ao prestígio de Newton, a teoria corpuscular seria aceita nos meios científicos, para ser superada, no século XIX, pela teoria ondulatória, a qual, hoje em dia, foi abandonada em favor da abordagem complementar da Óptica Quântica.

Leonhard Euler seria o primeiro renomado intelectual a contestar a teoria newtoniana da natureza da luz, opondo-se, assim, ao ponto de vista amplamente majoritário. Em sua obra *Nova Theoria Lucis et Colorum*, de 1746, Euler estabeleceria uma analogia entre a onda de luz, carregada pelo éter, e a do som, levada pelo ar; insistiria em que a teoria corpuscular não explicava o fenômeno da difração, e se filiaria à teoria ondulatória de Huygens. A conclusão, de Newton, de que a dispersão e a refração da luz seriam proporcionais, ou seja, a mesma força refringente desviaria as partículas de luz de massas diferentes, o que causaria desvio dos raios luminosos de diversas cores proporcional ao índice de refração, implicava na impossibilidade de se construírem objetivas acromáticas, isto é, em que

[395] TATON, René. *La Science Moderne.*
[396] ROSSI, Paolo. *O Nascimento da Ciência Moderna.*

as imagens não fossem irisadas[397]. Euler argumentaria que o olho humano é acromático e formado de substâncias de índices de refração diferentes, pelo que seria perfeitamente possível a fabricação de objetivas acromáticas. Apesar deste ataque desfechado por um dos mais conceituados intelectuais do século XVIII, os argumentos técnicos e teóricos, sem comprovação experimental, de Euler, não afetariam a credibilidade da teoria de Newton, que continuaria a prevalecer praticamente inquestionada.

Os trabalhos do inglês John Dollond (1706-1761) levaram-no à fabricação (1757) de uma lente composta acromática (livre de irisação), o que significaria mais um golpe na teoria da emissão, a qual continuaria, no entanto, a ser adotada pela comunidade científica.

O químico e físico russo Mikhail Lomonosov sugeriria, em seus escritos, uma teoria ondulatória da luz, porém sua obra não influenciaria pesquisas posteriores em outros países, já que não foi traduzida nem conhecida no exterior.

O assunto voltaria ao debate no início do século XIX, a partir da retomada dos estudos de Euler pelo inglês Thomas Young (1773-1829). Em suas experiências (1801/1807), descobriria Young o fenômeno da "interferência", pelo qual dois raios de luz se combinam e se superpõem, e a energia de um raio de luz aumenta e diminui constantemente, enquanto se propaga como o movimento de uma onda. Concluíra Young, retomando as experiências dos anéis, de Newton, que a luz era um fenômeno periódico, uma vibração do éter: compondo-se num mesmo ponto, dois feixes luminosos podem, interferindo-se, reforçar-se ou enfraquecer-se. Dois anos depois (1804), Young concebeu um dispositivo que comprovaria a interferência de dois feixes luminosos que divergiam de dois orifícios abertos numa placa e eram iluminados por uma mesma fonte pontual monocromática; as interferências produzidas entre estes dois feixes pareciam uma tela numa série de franjas alternativamente sombrias e brilhantes, enquanto a luz saída de cada orifício era a única a dar uma iluminação uniforme. Tal constatação confirmava, no entendimento de Young, a teoria ondulatória; no caso das partículas, jamais se observam "interferências": dois fluxos de partículas sempre se reforçam, nunca se anulam. Em outros termos, a natureza ondulatória da luz seria comprovada pela interferência, fenômeno em que a luz superposta à luz pode produzir o escuro, desde que suas fases e frequências guardem, entre si, determinadas relações numéricas[398]. Ao mesmo tempo, o fenômeno da difração não seria observado no caso de fluxo de partículas, pois, segundo a lei da inércia,

[397] LOCQUENEUX, Robert. *História da Física.*
[398] BARBOSA, Luiz Hildebrando Horta. *História da Ciência.*

partículas não submetidas à ação de uma força se movem em linha reta, não podendo contornar, assim, um obstáculo. A descoberta de Young (1801) e a retomada da teoria de Huygens lhe causariam problemas na Inglaterra, pois a teoria de Newton era considerada como incontestável; a objeção feria os brios nacionais ingleses, não sendo admissível qualquer crítica à obra de seu maior cientista, principalmente partindo de um inglês.

As pesquisas na Óptica não se limitariam, contudo, às tentativas da descoberta da natureza da luz; progressos importantes ocorreram nos campos da catóptrica, da dióptrica, e da difração, se bem que insuficientes para criar todas as condições, no século XVIII, para um enfoque positivo e racional no tratamento dos fenômenos ópticos.

Em meados do século XVIII, se desconhecia o que se chamaria fotometria, depois das pesquisas pioneiras de Pierre Bouguer (1698-1758), publicadas em *Ensaio Óptico sobre a Gradação da Luz* (1728) e seu *Tratado de Óptica* (1760), no qual estudou os fatores de transmissão e de reflexão e introduziu os métodos de medidas fotométricas. O matemático Johann Friedrich Lambert publicaria, em 1760, sua *Fotometria*, estudo de um conjunto de diversos problemas ligados a essa nova técnica.

Ainda em 1728, o matemático e astrônomo James Bradley (1693-1766) detectaria a "aberração da luz" estelar, resultante de sua velocidade finita, o que comprovava a estimativa de Römer. O valor obtido por Bradley foi de 296 km por segundo.

6.13.5 Eletricidade e Magnetismo

Os estudos e experimentos acerca dos fenômenos magnéticos e elétricos estiveram, até o século XVIII, bem mais atrasados que os relativos à Mecânica, à Acústica, ao Calor e à Óptica[399]. Se bem que observados desde a Antiguidade, e conhecidos seus "poderes de atração", não houve motivação especial para a busca da compreensão de tais fenômenos. O interesse da Astronomia (Kepler) e das grandes navegações, que para suas pesquisas e descobertas necessitavam de um melhor conhecimento dos fenômenos naturais, determinaria uma mudança de atitude. A obra de William Gilbert, intitulada *De Magnete* (1600), seria um marco decisivo nessa tentativa de compreender e explicar, a partir de suas próprias experiências, os fenômenos magnéticos e elétricos. Classificou Gilbert os corpos em "elétricos" e "não elétricos", acreditando que a eletrização decorria da remoção de

---

[399] TATON, René. *La Science Moderne.*

um fluido (substância imaterial), ficando no corpo um "eflúvio elétrico" (no caso do Magnetismo, um "eflúvio magnético").

Coincidindo com o advento da Primeira Revolução Industrial, os estudos e pesquisas com vistas ao conhecimento e ao domínio desses fenômenos seriam um dos aspectos relevantes da evolução da Ciência nesse século. Essas pesquisas experimentais, que marcariam o início do estudo sistemático nesse amplo campo, no século XVIII, principalmente na segunda metade, seriam decisivas para que a Eletricidade e o Magnetismo se constituíssem como Ciência estruturada no século seguinte, sob a denominação de Eletromagnetismo. Ao final do século XVIII, já estavam descobertos os princípios básicos da Eletrostática e do Magnetismo estático. Conforme sintetizou E. Bauer, no tomo *La Science Contemporaine*, de René Taton, Benjamin Franklin precisara a noção de descarga elétrica, Cavendish definira a capacidade do condutor e seu grau de eletrificação (potencial), Coulomb enunciara a lei do quadrado do inverso da distância, começara o estudo teórico e experimental da distribuição da Eletricidade na superfície do condutor, e determinara que não havia polo magnético livre, e que a imantação de um corpo era definida pelo seu "momento magnético". Além do mais, Volta construiria a pilha elétrica e descobriria a corrente elétrica. Com suas várias aplicações e com o consequente surgimento da "máquina elétrica", o aproveitamento pelo Homem da Eletricidade e do Magnetismo se refletiria no extraordinário progresso material que se seguiu[400].

6.13.5.1 Eletricidade Estática

As primeiras pesquisas sistemáticas nesse terreno foram realizadas por Francis Hauksbee (1666 ?-1713) que, de 1703 a 1709, efetuou diversas experiências, consignadas no *Experimentos Físico-Mecânicos...*, publicado em 1709. Hauksbee, que fora assistente e discípulo de Robert Boyle, pesquisou a "luminescência" e a Eletricidade estática causadas pela fricção, construiu o primeiro "eletroscópio de lâminas" para o estudo do "eflúvio luminoso" e a verificação de se um corpo estava ou não eletrizado.

O inglês Stephen Gray (1696-1736) realizou, entre 1727 e 1729, uma série de experiências sobre a condutibilidade da "virtude elétrica", da qual concluiria que alguns corpos não a possuíam. Gray atritou com um pedaço de lã uma rolha de cortiça em uma das extremidades de um tubo de vidro; em consequência, a rolha passou a atrair pequenos e leves

[400] BERNAL, J. D. *Ciência na História.*

corpos. Mesmo se a rolha de cortiça estivesse ligada ao tubo de vidro por um longo fio de seda, a rolha continuaria a atrair corpos leves. Numa de suas experiências, tendo se partido o fio de seda, Gray o substituiu por um de cobre, observando, com surpresa, que a rolha de cortiça não mais se eletrizava. Com base nessas experiências, concluiria Gray que alguns corpos eram susceptíveis de "conduzir" a Eletricidade, outros não. Observou, ainda, que bastava aproximar, sem encostar, um corpo eletrizado em um outro, para que este se tornasse, igualmente, eletrizado; trata-se da "eletrização à distância" ou "descarga induzida".

Ao mesmo tempo em que Gray, na Inglaterra, pesquisava, o físico, experimentador e diretor do *Jardin des Plantes* de Luiz XV, Charles François de Cisternay Du Fay (1698-1739), realizava, na França, experimentações, que seriam objeto de *Memórias*, publicadas em 1733. Du Fay era adepto do método científico, descrevendo suas observações e procurando estabelecer "princípios", sem dar maior importância "à matéria elétrica e a seu transporte"[401]; descreveria a Eletricidade como uma "propriedade de atrair os corpos leves". Retomando as experiências de Gray, supôs Du Fay que um corpo eletrizado atrairia "todos aqueles que não o são" e repeliria "todos aqueles que se tornaram eletrizados por sua aproximação e pela comunicação de sua virtude". Du Fay passaria a experimentar sua hipótese com a ajuda dos corpos eletrizáveis comuns; ao fazê-lo, descobriria que existiam duas categorias destes corpos, produzindo efeitos inversos[402]: uns e outros, escreveu, repelem os corpos que contraíram uma Eletricidade de mesma natureza que a deles, e eles atraem, ao contrário, aqueles cuja Eletricidade é de natureza diferente da deles. Sua experiência consistiu, basicamente, em aproximar um bastão de vidro eletrizado de uma fina folha de ouro, que, inicialmente atraída, é repelida ao tocar o vidro; em seguida, aproxima a folha de ouro de um pedaço de "resina copal", igualmente eletrizada, imaginando que o pedaço de resina fosse repelir a folha de ouro. No entanto, acontecera o inverso: a folha de ouro se colara à resina. Em consequência, Du Fay classificaria os corpos eletrizáveis em dois grupos: os corpos transparentes e sólidos, como o vidro e o cristal, e os corpos betuminosos ou resinosos, como o âmbar, a resina copal, a cera da Espanha, produzindo efeitos opostos. Haveria, assim, dois gêneros de Eletricidade estática, que chamou de "Eletricidade vítrea" e de "Eletricidade resinosa".

John Théophile Desaguliers (1683-1744), francês de nascimento, exilado, por motivos religiosos, na Inglaterra, onde viveria, repetiria e

[401] TATON, René. *La Science Moderne.*
[402] ROSMORDUC, Jean. *Uma História da Física e da Química.*

ampliaria as experiências de Gray. Sua principal contribuição ao estudo da Eletricidade foi a criação, em 1739, dos termos "condutor" para descrever a substância capaz de "conduzir" o fluxo elétrico e "insulador" (do latim *insula*, ilha) ou "isolante" para os não elétricos, pois rodeavam o fluxo elétrico como "as águas do mar em relação a uma ilha".

Em meados do século, ou, mais precisamente, em 1745, seria inventada a chamada "garrafa de Leiden" por dois pesquisadores, trabalhando separada e independentemente. Tal desenvolvimento foi importante na evolução do conhecimento da Eletricidade porque significou a "possibilidade de armazenar a Eletricidade". Gray e Du Fay já haviam indicado que se poderia, por contato com um tubo friccionado, eletrizar a água colocada num suporte isolante. Como o desperdício lento de Eletricidade era atribuído à "evaporação da matéria elétrica", procurou-se reduzir tal desperdício, "engarrafando" a água[403].

O médico e físico holandês Pietr van Musschenbroek (1692-1761), da Universidade de Leiden, em suas experiências sobre Eletricidade tentou eletrizar a água numa garrafa, introduzindo aí uma ponta de um fio de cobre, e fixou a outra extremidade do fio numa barra de aço, ligada, por uma corrente de metal, a um gerador de von Guericke. Um ajudante segurava a garrafa com uma das mãos, e, ao tocar a corrente de metal com a outra mão, sentiu um violento choque. Em outra experiência, de 1745, Musschenbroek tampou, com rolha de cortiça, uma garrafa de vidro comum, com suas paredes internas e externas revestidas de uma fina folha de prata, e a encheu, até à metade, de água. Atravessando a rolha com uma haste metálica, mergulhou-a até à água. Estava, assim, construído um dispositivo para armazenar o eflúvio elétrico, o primeiro condensador de carga elétrica estática produzida por fricção. Tão auspicioso fato teria enorme repercussão nos meios intelectuais e científicos da época, tendo, inclusive, a Academia de Ciências de Paris tomado conhecimento da experiência por meio da carta de Musschenbroek a Réaumur.

O pastor alemão Ewald Georg von Kleist (1700-1748) construiu um aparelho semelhante ao de Musschenbroek e o apresentou à Sociedade Científica de Dantzig, mas sua pesquisa não teve a mesma repercussão que a do físico holandês. Tratava-se, no entanto, de um aparelho que armazenava Eletricidade de tal maneira que, quando se descarregava, produzia uma centelha capaz de acender uma quantidade de álcool[404].

Por essa época, no campo do Magnetismo, o geólogo e astrônomo inglês, John Michell (1724-1793) publicou, em 1751, o livro *Um Tratado*

403 ROUSSEAU, Pierre. *Histoire de la Science.*
404 RONAN, Colin. *História Ilustrada da Ciência.*

sobre Magnetos Artificiais, no qual lançou a lei de que a força entre os polos magnéticos variava com o inverso do quadrado da distância entre eles, ou, em outras palavras, a intensidade da força de atração e repulsão dos polos magnéticos diminuía com o quadrado da distância[405]. Nas suas pesquisas, utilizara uma "balança de torção".

A descoberta proporcionada pela garrafa de Leiden repercutiria, igualmente, na colônia inglesa na América, onde Benjamin Franklin pesquisava acerca da Eletrostática. Autodidata, tipógrafo, jornalista, político, cientista, membro da Sociedade Real de Londres e da Academia de Ciências de Paris, cofundador da Universidade da Pensilvânia, Diretor dos Correios, Benjamin Franklin (1706-1790) interessou-se por Ciências em geral, e pelos fenômenos elétricos, em particular. Em 1751, publicou os resultados de suas pesquisas no livro *Experimentos e Observações sobre a Eletricidade, realizados em Filadélfia na América*.

Em várias cartas, de 1747 a 1749, a Peter Collinson, enviou Franklin muitas observações sobre a Eletricidade, como "existe somente uma espécie de Eletricidade, e que ela se encontra presente em todos os corpos, porém, em quantidades moderadas"; "o vidro friccionado atrai Eletricidade da borracha e torna-se eletrizado positivamente ou plus (+), ao passo que a borracha se torna eletrizada negativamente ou minus (-)"; "os corpos que possuem uma quantidade de Eletricidade inferior à comum repelem-se uns aos outros, do mesmo modo que os que possuem mais"; "um Globo de enxofre, empregado em vez de vidro na máquina elétrica, carrega-se de Eletricidade negativa" (deve-se a Franklin a denominação de Eletricidade "positiva'"para a Eletricidade "vítrea" de Du Fay, e de "negativa" para a Eletricidade "resinosa"); "um recipiente metálico isolado não consegue reter Eletricidade em sua parte interna"; "um ou mais corpos devem ganhar 'fogo elétrico' de corpos que o perdem" (hoje conhecida como "lei de conservação da carga elétrica": a soma líquida das cargas elétricas dentro de uma determinada região é constante); "um corpo que possui apenas a quantidade média de 'fogo elétrico' pode receber uma centelha de um corpo carregado positivamente e emitir outra centelha para um corpo carregado negativamente"[406]. Quanto às suas experiências com a garrafa de Leiden, Franklin explicou seu funcionamento mostrando que ela se carregava internamente com o fogo elétrico positivo, e externamente, com o fogo elétrico negativo, nas mesmas quantidades, e que não havia passagem desses fogos através da parede de vidro da garrafa; a associação de várias dessas garrafas em série, constituindo uma bateria elétrica, aumentava a capacidade de armazenagem do fogo elétrico.

---

[405] BEN-DOV, Yoav. *Convite à Física.*

[406] BASSALO, José Maria Filardo. *Nascimentos da Física.*

Em 1749, escrevera Franklin, em suas anotações, que

> o fluido elétrico coincide com o relâmpago nas seguintes características: produção e cor da luz, direção curva, movimento rápido, condução por metais, estalo ou barulho ao explodir, resistência à ação da água ou do gelo, laceramentos dos corpos atravessados, destruição de animais, derretimento de metais, queima de substâncias inflamáveis, cheiro de enxofre, atração por pontas.

Interessou-se, assim, em pesquisar os fenômenos meteorológicos (raios, relâmpagos), convencido de que se tratava de manifestação elétrica. Durante uma tempestade, em 1752, Franklin empinou uma pipa que levava um fio elétrico orientado direcionalmente, ao qual atou um fio de seda, que poderia ser carregado pela Eletricidade do ar, caso a mesma existisse; uma chave metálica conectada ao fio de seda ficava ao lado do experimentador. Ao tocar a chave com a mão, esta soltou faíscas como a garrafa de Leiden, comprovando, assim, a natureza elétrica dos fenômenos atmosféricos. Ao mesmo tempo, suas pesquisas convenceram-no de que as superfícies pontiagudas atraíam Eletricidade, o que o levou a inventar o para-raios[407], colocando o primeiro no terreno de sua casa. A invenção teve repercussão mundial, e, em pouco tempo, o para-raios era adotado como proteção, e seu inventor tornou-se famoso.

6.13.5.2 Natureza da Eletricidade

A questão da natureza dos fenômenos elétricos e magnéticos não esteve no centro das preocupações dos pesquisadores, tanto que não se constituiu em obstáculo para a adoção, desde meados do século, de um enfoque científico, baseado na experimentação quantitativa e na formulação de leis.

Du Fay, em 1733, ao estudar a descoberta, por Stephen Gray, da condutibilidade elétrica, considerava que uma só "virtude" elétrica não poderia explicar todos os fenômenos de atração e repulsão entre os corpos. Em consequência, admitiu duas espécies de Eletricidade estática: a vítrea e a resinosa. Apesar de nunca ter sugerido a existência de "dois fluidos elétricos", o resultado de suas pesquisas foi confundido como uma evidência do que viria a ser conhecido como hipótese ou "teoria dos dois fluidos". Tal hipótese seria aceita por muitos, e estava bastante difundida em meados do

---

[407] ROUSSEAU, Pierre. *Histoire de la Science.*

século. Em 1757, a Sociedade Real publicaria trabalho do físico inglês Robert Symmer (1707-1763), no qual relatava que suas experiências confirmavam a "ideia de Du Fay" de "dois fluidos elétricos". Sua conclusão, contudo, diferia daquela admitida pelo físico francês, pois defendeu que um corpo eletrizado teria excesso de um fluido sobre o outro, enquanto para Du Fay, as duas Eletricidades apresentavam o mesmo sinal.

Benjamin Franklin combateu a ideia dos dois fluidos elétricos com sua "teoria da matéria elétrica" ou "teoria de um fluido elétrico", pela qual todos os corpos eram constituídos por matéria ordinária e por matéria elétrica. A matéria elétrica consistia de partículas extremamente sutis, já que ela podia penetrar na matéria ordinária; a diferença entre estas matérias é que as partículas da matéria ordinária se atraem, enquanto as da matéria elétrica se repelem. Um corpo estaria carregado positivamente quando o fluido elétrico estivesse em excesso, e negativamente, quando estivesse em menor quantidade[408].

No mesmo ano da publicação do estudo de Symmer, o físico e matemático alemão Franz Maria Aepinus (1724-1802) publicou *Uma Tentativa Teórica da Eletricidade e do Magnetismo*, considerado o primeiro trabalho de aplicação matemática para explicar a Eletricidade e o Magnetismo. Aepinus usaria a teoria de Franklin de "um fluido elétrico" para explicar que as propriedades magnéticas dos polos dos ímãs se deviam à falta ou excesso de um fluido magnético, cujas partículas repeliam uma à outra, e que o Magnetismo permanente do ímã era devido ao emaranhamento desse fluido escrito em linguagem matemática. O grande interesse despertado para a compreensão dessa nova área do conhecimento, surgida em pleno período de afirmação do espírito científico, determinaria a adoção desse novo enfoque, o qual, por sua vez, evitaria muitas especulações e colocaria as pesquisas dos fenômenos elétricos em bases firmes e seguras. Domínio novo de estudos, seu conhecimento era, contudo, bastante fragmentado, levando, naturalmente, a imprecisões de certas noções (Franklin, Nollet, Watson), como incluir num mesmo conceito "Eletricidade" (ou matéria elétrica), e "atmosfera elétrica" que circunda os corpos eletrizados, isto é, seu campo de força. A utilização indiscriminada de diversos termos, como eflúvio, virtude, fluido, fogo, matéria, turbilhão e atmosfera, denota o estágio ainda inicial das pesquisas dos fenômenos elétricos.

O verbete sobre "Eletricidade" na *Enciclopédia Francesa*, preparado por Louis-Guillaume Le Monnier (1717-1799), evidencia as dúvidas e os problemas enfrentados naquela época:

408 LOCQUENEUX, Robert. *História da Física.*

> as opiniões dos físicos estão divididas sobre a causa da Eletricidade: todos concordam, entretanto, na existência de uma matéria elétrica mais ou menos reunida em volta de corpos eletrizados e que produz, por seus movimentos, os efeitos da Eletricidade que recebemos, mas eles explicam diferentemente as causas e as direções desses diferentes movimentos... Como ainda não se conhece a essência da matéria elétrica, é nos poros desse mesmo ímã[409].

Quanto à Eletricidade, argumentou Aepinus, ao contrário de Franklin, que as partículas da matéria ordinária conteriam, igualmente, Eletricidade, e que, quando esta era retirada, o que restava das moléculas de matéria ordinária se repelia, como fazem as moléculas de matéria elétrica.

As duas teorias, a da matéria elétrica e a dos dois fluidos, coexistiriam ao longo do período. Apesar de alguns equívocos conceituais, como a da atmosfera elétrica e a da equivalência da Eletricidade vítrea a um excesso de fluido elétrico, a teoria de Benjamin Franklin contaria com mais adeptos, nos meios científicos, que a dos dois fluidos. A questão continuaria em aberto, para futuros estudos, no século XIX, mas sem se constituir em tema essencial, pois "os físicos atuais não procuram saber a 'verdadeira' natureza das Eletricidades. Basta-lhes saber que ela é uma quantidade passível de descrição, através de números que podem assumir valores positivos ou negativos"[410].

6.13.5.3 Quantificação – Princípios e Leis

As pesquisas no campo elétrico e magnético levaram à convicção de que tais fenômenos eram passíveis de medição, ou seja, que as forças de atração e repulsão poderiam ter o mesmo tratamento científico e experimental que outros fenômenos físicos. A utilização, nessas experiências, do método quantitativo, só foi possível, como em outras Ciências (Astronomia, Química, Biologia), com o desenvolvimento e aperfeiçoamento de instrumentos de precisão e medição, além do tratamento matemático na formulação das leis aplicáveis à Eletricidade e ao Magnetismo. Franklin, por exemplo, que definira carga elétrica, ou quantidade de Eletricidade, não teve condições, por falta de adequados aparelhos, de medi-la.

A partir de meados do século XVIII, importante progresso na invenção e desenvolvimento de instrumentos científicos deve ser

---

409 BASSALO, José Maria Filardo. *Nascimentos da Física.*

410 BEN-DOV, Yoav. *Convite à Física.*

registrado, já que viabilizaria o aperfeiçoamento das pesquisas nessa área. Assim, Jean Baptiste Leroy (1720-1800) e Patrick D'Arcy (1725-1778) inventaram (1749) o primeiro eletrômetro-aerômetro, para a medição da faísca elétrica; John Michell (1724-1793) construiria uma balança de torção para seus estudos; Ebenezer Kinnerley (1711-1778) desenvolveu termômetro elétrico de ar capaz de estimar o aumento de pressão causado pela passagem de uma faísca elétrica por um volume de ar confinado; em 1763, o físico sueco Johan Carl Wilcke (1732-1796) anunciou a invenção de um dispositivo para medir a declinação magnética; nessa mesma época, John Robinson (1731-1805) desenvolveu um eletrômetro; em 1772, Edward Nairne (1726-1806) construiu máquina elétrica com a qual realizou uma série de experiências sobre Eletricidade; o físico Alessandro Volta inventaria um "eletróforo", em 1775, e um "eletrômetro", em 1781, além de um "eudiômetro (para determinação da proporção volumétrica dos gases). Nessa relação exemplificativa de invenções, não devem ser esquecidas a famosa garrafa de Leiden (1745), que permitiria o estudo das descargas elétricas, e a balança de torção (1784) de Charles-Augustin Coulomb, que lhe possibilitou formular a "Lei Fundamental da Eletricidade". A passagem do método qualitativo para o quantitativo em Eletricidade e Magnetismo foi devida, principalmente, a Joseph Priestley, a Henry Cavendish e a Charles-Augustin Coulomb.

O químico e físico inglês Joseph Priestley (1733-1804), ministro presbiteriano, membro da Academia de Ciências de Paris e da Sociedade Lunar (Birmingham), envolveu-se em política, manifestando-se a favor das Revoluções Americana e Francesa; hostilizado pela opinião pública inglesa, emigrou, em 1794, para os EUA, onde já viviam seus filhos, e onde prosseguiria com suas pesquisas, até o final de sua vida[411]. Sua principal atividade foi na Química, tendo descoberto o "ar deflogistizado" (Lavoisier deu o nome de oxigênio ao gás) e isolado vários gases, como o bióxido de carbono, monóxido de carbono, o óxido nitroso. O interesse de Priestley pela Eletricidade foi despertado por Benjamin Franklin, com quem manteve estreito contato, quando da visita do político e cientista americano à Inglaterra. Em 1767, escreveria sua *História e Situação Atual da Eletricidade*, na qual apresentaria a hipótese de que a força elétrica, como a força da gravidade, deveria variar com o quadrado do inverso da distância. Em sua pesquisa, verificara Priestley que um pequeno pedaço de cortiça colocado no interior de uma cavidade metálica não sofria nenhuma influência elétrica. Para Priestley, esse fato poderia significar uma situação análoga à da força de gravidade, que, no interior de uma cavidade esférica,

[411] ASIMOV, Isaac. *Gênios da Humanidade.*

era nula, devido à lei do quadrado do inverso da distância, de Newton. Priestley não afirmou, nem apresentou demonstração, mas limitou-se a levantar a hipótese da analogia da força elétrica com a da gravidade para futuro exame[412]. Priestley ainda descobriu ser o carbono um condutor elétrico.

Pouco depois, o físico escocês John Robinson (1739-1805) realizou (1769) experiências para testar a hipótese levantada por Priestley, e o matemático e físico suíço Daniel Bernoulli tentou, sem sucesso, um tratamento matemático para a variação da força elétrica.

O químico e físico inglês Henry Cavendish (1731-1810), de família aristocrática e de grande fortuna, dedicou-se integralmente à pesquisa científica, levando uma vida simples, sem luxo e isolada. Mantinha um excelente laboratório, mas não tinha aptidão para desenvolver instrumentos de pesquisa. Misantropo, evitava ao máximo estabelecer contatos com outros cientistas e manteve em segredo a maior parte de suas investigações, as quais seriam publicadas somente em 1879, por iniciativa de James Clerk Maxwell. Descobriu um gás inflamável, batizado por Lavoisier de hidrogênio, e efetuou o primeiro cálculo da densidade da Terra. Sobre Eletricidade[413], publicaria duas *Memórias* (1771 e 1776) no *Philosophical Transactions*, da Sociedade Real, nas quais comentaria que a carga elétrica armazenável por um condutor era proporcional a uma constante: a capacidade do condutor; o grau de eletrificação do condutor corresponderia, assim, ao potencial elétrico; noções essenciais da eletrostática, carga e potencial, passariam a ter uma definição precisa: dois corpos de formas diferentes ligados por um fio condutor não levam a mesma carga, mas são eletrizados no mesmo grau. Em outras palavras, a quantidade de Eletricidade (carga elétrica) suscetível de ser armazenada por um condutor é proporcional a uma constante, característica desse condutor, chamada de capacidade[414]. Cavendish retomaria a hipótese de Priestley, confirmando que as forças entre dois campos são inversamente proporcionais ao quadrado da distância que as separa.

A evolução do estudo sistemático, em bases estritamente científicas, da Eletricidade e do Magnetismo atingiu seu patamar mais elevado, no século XVIII, com Coulomb. Com um atraso em relação à Mecânica dos sólidos e dos fluidos e da Mecânica Celeste, já constituídas em Ciências estruturadas, a formulação da Lei Fundamental da Eletricidade significaria o ingresso desse ramo de fenômenos físicos no rol das Ciências Modernas, que viria atingir um

---

[412] TATON, René. *La Science Moderne.*
[413] ROUSSEAU, Pierre. *Histoire de la Science.*
[414] ROSMORDUC, Jean. *Uma História da Física e da Química.*

grande desenvolvimento no século XIX, com o aperfeiçoamento dos métodos experimentais e dos cálculos teóricos[415]. Nesse processo, a figura maior foi a de Charles-Augustin Coulomb, cujas pesquisas são o marco dessa evolução positiva de criação desse ramo da Ciência física.

O engenheiro militar Charles-Augustin Coulomb (1736-1806) começou sua carreira como diretor dos trabalhos de fortificações na Martinica, e depois em Rochefort e Cherburgo. Por seus trabalhos em Mecânica e Magnetismo, foi eleito, em 1781, para a Academia de Ciências de Paris. Com a eclosão da Revolução Francesa, retirou-se para Blois, onde continuaria seu trabalho científico. Suas primeiras pesquisas foram sobre resistência dos materiais (1773) e sobre Mecânica e atrito (1779), quando formulou, nos seguintes termos, a lei do atrito: "para puxar um fardo pesado sobre um plano horizontal, é necessário despender uma força proporcional a seu peso, aumentada de uma pequena constante, que é função da coerência das suas superfícies". Hábil experimentador e profundo teórico, suas memórias obedeciam invariavelmente a uma ordem expositiva: preliminares teóricas, fundamentadas em conhecimentos anteriores, planos de trabalho, descrição dos aparelhos, relato das experiências, resultados numéricos, consequências teóricas, novas experiências inspiradas pelos dados obtidos, conclusões finais e possíveis aplicações práticas[416]. Essa metodologia, estritamente científica, nortearia todas suas investigações e explica seu sucesso.

Em 1777, Coulomb apresentou à Academia de Ciências sua primeira *Memória* sobre Magnetismo, intitulada *Pesquisas sobre a melhor maneira de fabricar Agulhas Imantadas*, na qual se oporia à ideia de Descartes sobre vórtices magnéticos. Nesse trabalho, Coulomb estabeleceria dois princípios fundamentais: "o campo magnético terrestre é uniforme em um dado lugar", e "sua ação sobre um ímã reduz-se a um binário proporcional ao seu ângulo que o ímã determinou com sua orientação de equilíbrio"; Coulomb escreveria ainda que

> a direção de uma agulha imantada não pode depender de uma torrente fluida. A experiência prova que não são, de modo algum, os turbilhões que produzem os diferentes fenômenos de imantação, e que, para explicá-los, cumpre recorrer a forças atrativas e repulsivas da mesma natureza daquelas de que somos forçados a nos servir para explicar o peso dos corpos e a Física celeste.

Partindo desses princípios, Coulomb formularia a equação dos movimentos de uma agulha imantada no campo terrestre, integrando-a

[415] TATON, René. *La Science Moderne.*
[416] TATON, René. *La Science Moderne.*

para as pequenas oscilações, e mostraria que era possível deduzir o momento da força de imantação e comparar, entre si, os momentos magnéticos de diversos ímãs.

Em 1785, Coulomb submeteu à Academia de Ciências três *Memórias*, sendo duas sobre as leis das forças de atração e repulsão entre duas cargas elétricas e magnéticas, e uma sobre dispersão elétrica. Para suas investigações sobre forças elétricas e magnéticas, inventou Coulomb sua famosa balança de torção, instrumento de precisão que lhe permitiria introduzir, em definitivo, o método quantitativo no estudo dos fenômenos da Eletricidade e do Magnetismo. O aparelho tinha uma esfera eletricamente carregada, ou um magneto, na extremidade de um braço horizontal suspenso de um fio de prata. Era todo ele envolvido por um estojo de vidro no qual estava gravada uma graduação. Com o braço horizontal em repouso, uma segunda esfera carregada (ou magneto) era aproximada até uma distância especificada; isso fazia o braço girar, e a torção do fio de prata resistia a esse giro de forma que a quantidade de rotação do braço horizontal era proporcional às forças de atração ou repulsão[417], ou, em outras palavras, a soma de torções do braço da balança permitia medir a força de atração ou repulsão. Da primeira *Memória*, constavam, entre outros pontos, a descrição da balança de torção e a comprovação experimental da lei no caso da força de repulsão; e da segunda *Memória*, a confirmação, no caso, da força de atração.

Nessas duas primeiras *Memórias* de 1785, Coulomb demonstraria, com a utilização de sua balança, que a força de atração ou repulsão entre duas cargas elétricas, como entre polos magnéticos, é diretamente proporcional ao produto de suas quantidades de cargas elétricas (ou magnéticas), inversamente proporcionais ao quadrado da distância que separa seus centros, e se situa na mesma direção da reta que une seus centros. Enunciaria, então, Coulomb o que seria a "Lei Fundamental da Eletricidade" (e do Magnetismo): "As forças de atração ou de repulsão entre duas esferas eletrizadas variam em razão inversa do quadrado da distância entre os centros respectivos".

A lei de Coulomb define exatamente a massa elétrica ou a carga elétrica de um corpo, e sua balança permite medir esta carga e sua densidade num ponto. Essas grandezas tinham sido introduzidas na Física por Franklin de forma semiqualitativa, e Cavendish as havia medido em valores relativos, por método indireto, mas Coulomb ligou tais grandezas em valor absoluto às grandezas mecânicas fundamentais, o que permitiu

---
[417] RONAN, Colin. *História lustrada da Ciência.*

submetê-las ao cálculo[418]. A identidade dessa lei das forças elétricas (atrativa e repulsiva) com as da força da gravidade (apenas atrativa) levaria ao desenvolvimento da teoria matemática da Eletricidade, no século seguinte, por Poisson e Gauss[419].

A expressão matemática de Coulomb para sua descoberta, experimentalmente comprovada, foi a de que a força magnética entre duas massas magnéticas "m" e "m^1", distantes de "r", é proporcional a "mm^1/r^2"; para as cargas elétricas, Coulomb estabeleceria que as forças elétricas entre duas cargas "q" e "q^1", distantes de "r", obedecem a uma lei semelhante: elas têm por direção a reta que une as cargas e são proporcionais a "qq^1/r^2"[420].

A terceira *Memória*, de 1785, sobre dispersão elétrica, descrevia o mecanismo deste fenômeno (inevitável para Coulomb pela dificuldade de encontrar na Natureza corpos isolantes), que seria aceita até surgir a teoria da ionização, no século XIX.

Coulomb apresentaria à Academia de Ciências três *Memórias* (1786, 1787 e 1788) consagradas à distribuição de Eletricidade em condutores e à variação da densidade elétrica de dois condutores em contato. Verificaria Coulomb que a carga elétrica se situa na superfície externa de um condutor, e que sua distribuição estática depende de sua curvatura, e que o ar não era um isolante ideal[421]. A utilização do plano de prova, para colher a carga elétrica numa porção de superfície de um condutor, e da balança de torção para medir esta carga, permitiria determinar matematicamente a distribuição de cargas elétricas sobre os condutores.

Sobre a "natureza" da carga elétrica, Coulomb assumiu uma posição prudente, sem assumir compromisso, apesar de revelar alguma preferência pela teoria dos dois fluidos. Coulomb foi homenageado com a designação de seu nome para unidade de carga elétrica.

Com essas seis *Memórias*, Coulomb estabeleceria o primeiro alicerce sólido da eletrostática experimental e matemática.

Em seus últimos trabalhos (1789-1801) Coulomb se dedicaria ao Magnetismo, definindo, ainda que um pouco vagamente, o conceito de "imantação" ou "polarização magnética", além de insinuar o que viria a ser chamado, no final do século XIX, de "ponto de Curie", temperatura acima da qual as substâncias perdem as propriedades magnéticas.

---

[418] TATON, René. *La Science Moderne.*

[419] BARBOSA, Luiz Hildebrando Horta. *História da Ciência.*

[420] LOCQUENEUX, Robert. *História da Física.*

[421] BASSALO, José Maria Filardo. *Nascimentos da Física.*

6.13.5.4 Eletricidade Dinâmica

A ideia de que os nervos e os músculos dos animais continham um fluido sutil semelhante ao fluido elétrico fora discutido durante o século XVIII, com base na grande similitude entre os choques produzidos pela garrafa de Leiden e os causados por vários peixes elétricos, como a tremelga, estudada por Cavendish (1776)[422].

O professor de Anatomia da Universidade de Bolonha, Luigi Galvani (1737-1798), que realizara importantes trabalhos no campo da Anatomia comparada, passou a se interessar, desde o final dos anos 70, pelos fenômenos elétricos. Com uma máquina eletrostática e uma garrafa de Leiden, iniciou Galvani experiências sobre estímulo muscular por meios elétricos; de acordo com suas próprias anotações, a Eletricidade animal passou a ser sua principal área de investigação. Em 1786, observou a contração muscular de uma rã ao tocar seus nervos com uma tesoura, durante uma tempestade. Seguiram-se várias experiências, que seriam publicadas em 1791, sob o título de *Sobre o Efeito da Eletricidade no Movimento Muscular*, descrevendo que "tendo dissecado e preparado uma rã, coloquei-a sobre uma mesa onde se achava, a alguma distância, uma máquina eletrostática. Aconteceu, por acaso, que um dos meus assistentes tocou a ponta do escalpelo no nervo interno da coxa da rã; imediatamente os músculos do membro foram agitados por violentas convulsões". Galvani acreditou, erroneamente, ter encontrado um detector extremamente sensível para as correntes ou descargas elétricas, admitindo tratar-se de nova fonte de Eletricidade, além das duas conhecidas: atrito (fricção) e influência (indução) eletrostática[423]. Em outra experiência, Galvani descreveria que

> levei o animal para um quarto fechado e coloquei-o sobre uma placa de ferro; quando toquei a placa com o fio de cobre, fixado na medula da rã, vi as suas contrações espasmódicas de antes. Tentei outros metais, com resultados mais ou menos violentos. Com os não condutores, todavia, nada se produziu. Isto era bastante surpreendente e conduziu-me a suspeitar de que a Eletricidade era inerente ao próprio animal, suspeita que foi confirmada pela observação de que uma espécie de circuito nervoso sutil (semelhante ao circuito elétrico da garrafa de Leiden) fecha-se dos nervos aos músculos, quando as contrações se produzem.

---

422 BERNAL, J. D. *Ciência na História.*
423 TATON, René. *La Science Moderne.*

Galvani, numa concepção meramente qualitativa, baseada em sensações animais, defenderia, durante toda a vida, a falsa teoria da Eletricidade animal, comparando seu aparelho (a rã) com a garrafa de Leiden, sendo o nervo a armadura interna e o músculo a armadura externa da garrafa.

A descoberta de Galvani foi uma sensação, com grande repercussão nos meios científicos da Europa da época. O que acontecera, na realidade, é que Galvani produzira uma corrente elétrica, sem reconhecê-la, o que seria demonstrado por Alessandro Volta, sem necessidade da utilização de qualquer animal, mas pela simples justaposição de dois pedaços de metal diferente, separados por um líquido (água e sal).

Alessandro Giuseppe Volta (1745-1827) pertencia a uma família aristocrática, interessando-se pela Eletricidade desde a leitura da obra de Priestley sobre a história e a situação presente do estudo desse fenômeno. Em 1775, já professor de Física da Escola Superior de Como, inventaria o "eletróforo" (para a fabricação, por fricção, da Eletricidade estática), utilizando duas placas metálicas, uma coberta com ebonite e a outra com um cabo isolado. O aparelho, que substituiria a garrafa de Leiden, faria Volta conhecido nos meios científicos, bem como o "eudiômetro" (para a determinação da proporção volumétrica dos gases), de 1776, e o "eletrômetro", desenvolvido em 1781.

Descobriu o metano, em 1776, gás que emanava em fermentações subaquáticas dos pântanos, sendo nomeado, em 1779, professor da Universidade de Pavia. Em 1791, foi agraciado com a medalha Copley, da Sociedade Real; em 1801, recebeu o título de conde e senador da Lombardia, e a Legião de Honra de Napoleão; em 1815, foi nomeado, pelo Imperador da Áustria, diretor da Universidade de Pádua, retirando-se da vida pública e de suas atividades profissionais e científicas em 1819. Volta foi homenageado com a designação de *volt* para a unidade de diferença de potencial (1 volt faz com que uma corrente de 1 ampère (unidade de corrente elétrica) produza 1 joule de energia (unidade de energia) a cada segundo).

Sua maior contribuição, contudo, não foi em Eletricidade estática, mas na Eletricidade dinâmica: a corrente elétrica[424].

Reconhecendo a importância das experiências de Galvani, refaria Volta esses experimentos, o que o levaria a aceitar as conclusões de seu compatriota. Experiências posteriores – apenas com metais, sem qualquer animal – fariam Volta convencer-se de equívocos das conclusões de Galvani e rejeitar a teoria da Eletricidade anima. Sua posição, já em

[424] ROUSSEAU, Pierre. *Histoire de la Science.*

1796, geraria séria controvérsia entre os dois cientistas italianos, na qual Coulomb se colocaria ao lado de Volta, enquanto Humboldt daria apoio a Galvani.

Em março de 1800, enviou Volta famosa carta à Sociedade Real de Londres, na qual informava, com minúcias, seu novo aparelho que gerava Eletricidade por um artifício e não pelo trabalho humano (fricção). O aparelho constava de diversos recipientes contendo uma solução ácida; os conteúdos eram interligados em série por arcos feitos de dois metais (cobre e zinco ou cobre e estanho), um em cada extremidade do arco. Volta chamava sua invenção de "aparelho elétrico artificial". Mais tarde, modificaria Volta o dispositivo, empilhando (daí o nome de pilha) alternadamente discos de cobre e discos de zinco, intercalados com feltros embebidos em solução ácida. Era possível, assim, conseguir um fluxo contínuo de Eletricidade. Por primeira vez na História se produzia uma fonte contínua de Eletricidade.

A expressão "pilha voltaica" foi criada pelo médico e físico holandês Martin van Marum (1750-1837), que fizera diversas experiências com a garrafa de Leiden e confirmara a teoria de Franklin de um único fluido elétrico. Em fevereiro de 1801, no Instituto de França, na presença de Napoleão, apresentou Volta seu invento, inclusive com uma demonstração de sua "bateria de corrente elétrica".

A invenção de Volta teve imensa repercussão, pois significava gerar Eletricidade, de modo constante, com corrente fluindo continuamente, através de um condutor, por meio de reações químicas. Sua extraordinária importância foi reconhecida, de imediato, pelas implicações como fonte de Eletricidade e em relação às questões teóricas que provocou. Como assinalou o já mencionado Colin Ronan, "a descoberta levantou problemas na área da Química e serviu de instrumento para forjar uma ligação entre a Eletricidade e as substâncias materiais, abrindo, desse modo, uma nova dimensão de pesquisa da qual se beneficiaria o século XIX"[425].

Sua descoberta propiciaria, em outras palavras, uma extraordinária revolução científica e tecnológica[426]. Ainda em 1800, utilizando a pilha voltaica, o químico William Nicholson (1753-1815) e o médico e fisiologista Anthony Carlisle (1768-1840) realizariam a primeira experiência eletroquímica, decompondo a água em seus elementos oxigênio e hidrogênio. Em 1803, o químico William Hyde Wollaston (1776-1828) isolou o "paládio", usando uma bateria elétrica, e no ano seguinte, o "ródio"; em 1807, Sir Humphry Davy (1778-1829) isolaria os elementos

[425] RONAN, Colin. *História Ilustrada da Ciência.*
[426] BARBOSA, Luiz Hildebrando Horta. *História da Ciência.*

"potássio" e "sódio", utilizando-se de uma bateria de 250 placas; e, em 1808, os elementos "bário", "estrôncio", "cálcio" e "magnésio".

Entre 1801 e 1804, o químico francês Charles Bernard Desormes (1777-1862) construiria as primeiras pilhas secas, compostas de discos metálicos separados por uma pasta de sal.

6.14 Química

A Química Moderna, quantitativa e experimental, nasceu com a obra de Lavoisier, primeiro a adotar, de forma sistemática, a recomendação de Galileu pela qual era necessário medir tudo que fosse mensurável e de procurar tornar mensurável tudo que ainda não o fosse[427]. Muitos autores citam o ano de 1789, pela publicação do *Tratado Elementar de Química*, como a data da criação da Química Moderna, enquanto outros consideram o conjunto da obra do químico francês, principalmente a situada entre 1783 e 1789, como o marco da grande e "revolucionária" mudança do sistema químico.

O século XVIII correspondeu, assim, ao período crucial de formação de uma nova Ciência positiva, que se seguiu ao período de transição do século anterior. A incapacidade da Alquimia de interpretar uma série de fenômenos químicos se revelara um estorvo ao progresso do entendimento do processo químico, o que tornou imperiosa a necessidade de formulação de uma teoria alternativa capaz de explicar certos fenômenos, cada vez mais intrigantes, como o da combustão e o da formação de sais. Uma nova teoria, chamada "do flogisto", de Georg Stahl, ainda que em bases equivocadas, viria a prevalecer durante grande parte do século XVIII, até ser refutada e substituída pela Química lavoisierana; ao mesmo tempo, novas pesquisas, experiências e descobertas alargariam, de forma considerável, a área de conhecimento nesse campo.

A paulatina afirmação de um pensamento científico no exame das questões relacionadas nessa área criaria as condições necessárias para o reexame do conhecimento químico da época, insuficiente e inapropriado para satisfazer aos cientistas, empenhados em explicações e comprovações cabais dos fenômenos químicos. A positividade, a racionalidade e a quantificação, já incorporadas nas pesquisas e experiências da Astronomia e da Física, ainda não eram aplicadas na Química, que recorria, então, a conceitos, métodos e critérios prevalecentes desde a Antiguidade e o Renascimento Científico. No novo contexto histórico e filosófico

[427] BARBOSA, Luiz Hildebrando Horta. *História da Ciência.*

se estruturaria a nova Química pela adoção de método científico e o abandono de considerações metafísicas. Assim, antigas teorias seriam refutadas, velhas fórmulas contestadas, critérios qualitativos abandonados e especulações rejeitadas. Estavam, portanto, criadas as condições para a reformulação da Química.

Embora tenha sido o mais brilhante químico de sua época, e dos mais importantes cientistas de toda a História da Ciência, não se pode, nem se deve, limitar a grande evolução do conhecimento químico no período exclusivamente à obra de Lavoisier. Sem dúvida, o químico francês foi o maior e o principal responsável pela grande transformação conceitual e pela introdução do método quantitativo na Química. Sua grande bagagem cultural científica, sua enorme capacidade intelectual e de trabalho e sua habilidade organizacional e de liderança explicam a extraordinária obra criadora de Lavoisier, que transformou as isoladas pesquisas sobre os fenômenos químicos em um conjunto coerente, abrangente, desmistificado e demonstrável. Lavoisier pesquisou os gases, decompôs o ar atmosférico e a água, refutou a decadente Alquimia e a metafísica teoria do flogisto ao explicar a combustão, estudou os ácidos, introduziu o uso sistemático da balança e a prática da quantificação, estabeleceu o princípio da conservação da matéria, criou um novo método de nomenclatura química com novas designações para as substâncias, invalidou a teoria dos quatro elementos e formulou novo conceito de elemento; foi, ainda, pioneiro na Físico-Química, ao trabalhar sobre os efeitos do Calor nas reações químicas, e pioneiro na Bioquímica, ao pesquisar a respiração humana e de animais, medindo o oxigênio consumido; inventou o Calorímetro de gelo e o gasômetro, lançou os fundamentos da nova Ciência em seu *Tratado Elementar de Química* e se mantinha informado com o que ocorria em outros países, como na Inglaterra, com Black, Cavendish e Priestley, e na Suécia, com Bergman, Scheele, Cronstadt e outros, e das pesquisas e estudos de outros cientistas franceses, como Rouelle, Macquer, Meusnier, Berthollet, Fourcroy e Guyton de Morveau[428]. Seus frequentes contatos com instituições científicas e pesquisadores da Europa o mantinham informado do desenvolvimento nas diversas áreas da pesquisa, como os avanços na Química industrial, a descoberta de um grande número de elementos, as pesquisas sobre os gases. Em várias oportunidades, manifestou Lavoisier seu reconhecimento pelos trabalhos de outros cientistas, porém não deixaria de reivindicar seu papel de criador de uma nova Química: “Esta teoria não é, contudo, como ouço dizer, a teoria dos químicos franceses, é a minha, e é propriedade que reclamo junto dos meus contemporâneos e da posteridade” (citação de Bernadette Bensaude-Vincent).

[428] IHDE, Aaron J. *The Development of Modern Chemistry.*

Se a obra de Lavoisier representa a culminação da evolução do conhecimento dos fenômenos químicos nesse período histórico, ao mesmo tempo significa uma ruptura definitiva com teorias, pressupostos e conceitos oriundos da Antiguidade clássica e vigentes até então. Como tal, haveria resistências e críticas na própria comunidade científica, a qual só viria a aceitar completamente as novas ideias e propostas nas primeiras décadas do século seguinte.

Três grandes princípios norteariam Lavoisier em sua construção científica: i) toda reação química seria considerada uma equação; esta igualdade seria de natureza quantitativa, que podia ser verificada pela pesagem dos corpos antes da reação e dos novos compostos depois da reação; ii) a validade da análise química devia ser confirmada pela síntese, reconstruindo exatamente o corpo original a partir dos elementos definidos pela Análise; e iii) o princípio da conservação da matéria seria uma lei matemática de valor geral, aplicável a todas as Ciências, e não apenas um conceito filosófico; na Química, a conservação se verificaria pelo uso sistemático da balança.

Assim, a partir do final do século XVIII, ingressaria a Química em sua fase positiva, a qual, com a descoberta das leis que regulam seus fenômenos, permitiria seu notável desenvolvimento nos séculos seguintes.

Nesse processo de criação, consequência inevitável foi a independência dos estudos e pesquisas químicas, até então submetidas à Física e à Biologia. Os estreitos contatos e vínculos entre esses três ramos da Ciência, por serem inerentes aos mesmos, não poderiam ser rompidos, mas a independente Química, apoiada em objetivos, métodos e experimentos próprios, criaria as condições necessárias para seu futuro desenvolvimento.

Seis aspectos fundamentais na evolução da Química, no século XVIII, devem ser salientados. O primeiro aspecto se refere à extensão da pesquisa, até então limitada às substâncias líquidas e sólidas, aos gases, considerados, na época, apenas como ar. Grande atividade seria desenvolvida nessa nova área, sendo que a Joseph Black cabe o mérito de haver sido o primeiro a isolar uma substância aeriforme, ao qual deu o nome de ar fixo, hoje conhecido como gás carbônico. A química dos gases seria um desenvolvimento dos mais importantes da pesquisa química, por sua contribuição ao reexame de conceitos e teorias ultrapassadas e à implantação do método quantitativo.

O segundo aspecto é o atinente à crescente e estreita vinculação da Química a outros ramos da Ciência, em especial à Física[429] e à Biologia.

[429] ROSMORDUC, Jean. *Uma História da Física e da Química.*

Evidências nesse sentido são inúmeras, como a utilização da Eletricidade, desde a descoberta da corrente elétrica, por Alessandro Volta, permitindo a eletrólise na chamada Eletroquímica, e as experiências no campo da respiração animal e vegetal, vinculadas ao oxigênio e à combustão. A Calorimetria seria outro exemplo de contribuição de um ramo da Física aos estudos químicos, particularmente no que se refere à dilatação dos corpos.

O terceiro aspecto é o relativo a que a teoria atômica da matéria, redescoberta no século XVII, por Gassendi, continuaria a ganhar adeptos[430], mas sem condições de se afirmar, por falta de comprovação. Ao mesmo tempo, a teoria dos quatro elementos (Empédocles/Aristóteles) continuaria vigente, vindo a ser definitivamente abandonada somente a partir de Lavoisier. O químico francês Pierre Joseph Macquer, no artigo *Princípios*, publicado em seu *Dicionário de Química*, de 1766, atestava a validade da teoria grega:

> Reconheceremos, sem dúvida com espanto, que admitimos atualmente como princípios de todos os compostos os quatro elementos – o fogo, o ar, a água e a terra, que Aristóteles indicara como tais, muito tempo antes de termos os conhecimentos de Química necessários para constatar semelhante verdade. Com efeito, seja qual for a maneira de decompor os corpos, nunca poderemos retirar senão estas substâncias: são o último termo da Análise química[431].

O quarto aspecto a salientar é o da crescente especialização das experiências químicas, desde, principalmente, meados do século, o que determinaria o surgimento do "químico", experimentador e estudioso dedicado fundamentalmente às questões desses fenômenos. A Química, até o século XVII, fora ensinada em Escolas de Medicina, e praticada quase que exclusivamente por médicos (Paracelso, Béguin, Rey, Van Helmont, Lemery, Ettmuller, Sennert), sendo Boyle uma das poucas exceções. Esse quadro se alteraria no século XVIII. Ainda que tenha sido praticada por alguns médicos e farmacêuticos (Stahl, Boerhaave, Geoffroy, Black, Scheele), passaria a pesquisa química a ser uma atividade em que se distinguiriam especialistas, em muitos casos sem conhecimento específico de Biologia (Lavoisier, Berthollet, Fourcroy, Proust, Chaptal, Margraff, Richter, Klaproth, Cronstadt, Bergman, Lomonosov); Guyton de Morveau seria uma das exceções. Alguns dos mais importantes pesquisadores britânicos no campo da Química, como Cavendish, Priestley, Humphry Davy e Wollaston, foram ativos, também, em pesquisas na área da Física.

---

[430] LEICESTER, Henry M. *The Historical Background of Chemistry.*
[431] SERRES, Michel. *Elementos para uma História das Ciências (II).*

O quinto aspecto é o relativo à preeminência da análise (decomposição) sobre a síntese (formação de compostos) a partir da segunda metade do século. Como explica a já mencionada Bernadette Bensaude-Vincent, a análise, para Lavoisier, seria o único objeto da Química, o seu fim exclusivo, pois afirmara o sábio francês que "a Química, ao submeter à experiência os diferentes corpos da Natureza, tem por objeto decompô-los... A Química caminha para a sua finalidade e para a sua perfeição ao dividir, subdividir, e *ressubdividir* ainda, e nós ignoramos qual será o termo dos seus resultados"[432]. Nesse processo, a balança, já utilizada nos laboratórios de Química, se transformaria no instrumento essencial das provas experimentais, pois em cada etapa fazia Lavoisier seu uso sistemático para o balanço das reações ocorridas numa Química baseada em experimentação, quantificação, demonstração e comprovação.

O sexto aspecto se refere à elaboração de uma nomenclatura química compatível com os novos conceitos e conhecimentos de uma nova Ciência. Uma nova linguagem, em base científica, se impunha para estabelecer a ordem na qual predominavam a confusão e a imperfeição e para expressar a nova Química por meio de uma nomenclatura racional e universalmente utilizada. O *Método de Nomenclatura Química*, de 1787, elaborado sob a supervisão de Lavoisier, preencheria essa grande lacuna.

No verbete sobre Química, na *Enciclopédia Francesa*, o médico Venel vaticinara que a Química, para ocupar um lugar que merecia, ao lado da Física, dependeria de um químico hábil, entusiasta e corajoso, o qual, numa posição favorável, e aproveitando circunstâncias favoráveis, saberia chamar a atenção dos sábios.

Pelo exposto, pode-se considerar a História da Química em dois grandes períodos: o primeiro, caracterizado por uma "Química" especulativa e qualitativa, se estenderia da Antiguidade até a obra de Lavoisier, que implantaria o método científico na pesquisa química; e o segundo, vigente e atual, iniciado com a criação da Química Moderna no final do século XVIII. Em consequência, a exposição da evolução e da criação da Ciência nesse século deve registrar e enfatizar essa característica de ampliação de conhecimento e de âmbito, e essa modificação profunda de doutrina, de prática e de método havida na Química, após mais de dois mil anos.

Antoine Laurent de Lavoisier (1743-1794) estudou, a partir dos 11 anos, no prestigioso Colégio Mazarino, onde aprendeu noções de Matemática e de Ciências; em 1761, ingressou, para agradar a seu pai, na Faculdade de Direito, concluindo o curso em 1764. Seu interesse, contudo, estava nas Ciências, as quais estudaria com reputados professores

---

432 SERRES, Michel. *Elementos para uma História das Ciências (II).*

e pesquisadores, como Bernard de Jussieu (1699-1777), em Botânica; Jean Antoine Nollet (1700-1770), em Eletricidade; Nicolas de Lacaille (1713-1762), em Matemática e Astronomia; Jean Pierre Guettard (1715-1786), em Mineralogia e Geologia; Guillaume François Rouelle (1703-1770), em Química; e na Escola de Medicina estudou Anatomia[433]. No campo da Filosofia, foi admirador de Etienne Bonnot de Marly de Condillac (1715-1780), que teria grande influência na formulação de suas teorias. Sem vocação para seguir a carreira de advogado, aproveitaria Lavoisier o concurso aberto pela Academia de Ciências, em 1765, sobre o melhor meio de iluminar, à noite, Paris; concorrendo com uma *Memória*, na qual propôs o uso do azeite de oliva, seu trabalho seria premiado com a medalha de ouro.

Candidatou-se, em 1766, a uma vaga na Academia, no lugar de Pierre Joseph Macquer (1718-1784), promovido a membro associado, mas foi preterido por Louis Gassicourt. Com a morte de sua avó materna, em 1768, herdou uma grande fortuna, o que lhe permitiria investir na *Ferme Générale* (*Fazenda Geral*), Sociedade privada de 60 sócios que negociava a cada seis anos com o Governo o privilégio de cobrar certos impostos, o que assegurava aos investidores polpudas comissões. Ainda em 1768, outra vaga na Academia foi preenchida por outro candidato (Gabriel Jars), mas Luiz XV criou um posto excepcional de adjunto para Lavoisier, a ser ocupado interinamente até que surgisse nova vaga, o que aconteceria no ano seguinte, com o falecimento daquele que fora recém-escolhido. Assim, a situação do jovem químico (25 anos) na Academia seria normalizada.

Por essa época (1768), iniciou seus trabalhos sobre a alegada afirmação de Van Helmont, no século anterior, de que em seus experimentos com um arbusto constatara a transmutação da água em terra. Essa observação fora comprovada por outros químicos; Lavoisier refutaria a teoria da transmutação elementar, ao provar que não havia alteração de peso, e que o sólido que aparecia no recipiente era formado pelo ataque da água ao vidro.

Em 1771, casou-se Lavoisier com Marie Anne Paulze (13 anos), filha de seu superior na *Ferme Générale*, e Homem de grande fortuna; Marie Anne, que conhecia latim e inglês, e estudara pintura com David, seria uma importante colaboradora do marido, tomando parte efetiva em muitos de seus experimentos, traduzindo artigos e obras de químicos ingleses e ilustrando o *Tratado Elementar de Química*[434]. Lavoisier construiu um laboratório em sua casa e passou a se dedicar à pesquisa química, inclusive sobre os gases e o efeito do Calor na combustão. Ao assumir, em

---

[433] BARBOSA, Luiz Hildebrando Horta. *História da Ciência.*
[434] FILGUEIRAS, Carlos. *Lavoisier – O Estabelecimento da Química Moderna.*

1776, a direção da "Administração da Pólvora e do Salitre", recém-criada por Turgot, com o objetivo de melhorar a qualidade da pólvora francesa, passaria Lavoisier a residir, até 1791, no "Arsenal", onde instalaria seu novo laboratório.

O médico e jornalista Jean Paul Marat (1743-1793), famoso por sua atuação na Revolução Francesa, tinha veleidades científicas, interessando-se pelo estudo dos fenômenos físicos, como a luz, o Calor, o Fogo e a Eletricidade. Seu trabalho (1778) sobre o fogo foi considerado por uma comissão da Academia, cujo relatório, redigido por Condorcet, qualificava a Ciência de Marat, totalmente equivocada, não merecendo a aprovação da Academia. Apesar de tudo, Marat recorreu da decisão, e, em 1780, fez publicar que seu trabalho fora aceito pela Academia, o que forçou Lavoisier a levar o assunto a seus pares. Os esclarecimentos da Academia gerariam uma polêmica na imprensa, o que não impediria Marat de ter um trabalho seu sobre a *Eletricidade na Medicina* aceito, em 1783, pela Academia. Ao fundar seu jornal, em 1789, Marat iniciaria uma série de críticas à Academia, acusada de elitista, denunciando Lavoisier como o corifeu dos charlatões, filho de sovina, aprendiz de químico, aluno do agiota genebrino, administrador infiel da subsistência e o maior intrigante do século[435]. Em julho de 1793, Marat foi assassinado; em agosto, foram fechadas todas as Academias; e ,em setembro, se instalou o regime conhecido como do "Terror". Em novembro, a Convenção, da qual eram membros seus antigos colaboradores – Bertholet, Fourcroy e Guyton de Morveau – aprovou a detenção dos antigos *fermiers*, tendo Lavoisier se entregado, voluntariamente, em 28 de novembro. Abandonado por seus antigos colaboradores, o químico francês seria defendido pelo íntegro matemático Lagrange, em atestado enviado à Convenção. Lavoisier foi julgado, condenado, e guilhotinado no dia 8 de maio de 1794.

6.14.1 Combustão: A Teoria do Flogisto

Por volta de 1718, o médico e químico alemão Georg Ernst Stahl formulou a "teoria do flogisto" (do grego *phlogistos,* inflamável), com a qual pretendia explicar o fenômeno da combustão, que intrigava os filósofos naturais desde a Antiguidade. Para os gregos, as substâncias inflamáveis continham o "elemento" fogo, o qual, quando liberado, por condições apropriadas (Calor, faísca, relâmpago), se manifestava em forma de chama. Para os alquimistas, o enxofre seria o elemento combustível. No

[435] FILGUEIRAS, Carlos. *Lavoisier – O Estabelecimento da Química Moderna.*

século XVII, Johann Joachim Becher, na obra *Physica subterranea* (1669), expôs sua teoria pseudo-científica e especulativa[436] de todos os sólidos consistirem de três tipos de terras, às quais corresponderiam certos elementos e princípios: terra vítrea (princípio da fusibilidade), terra fluida (princípio da volatilidade) e terra pinguis (princípio da inflamabilidade). Para Becher, um sólido (carvão), composto de terra pinguis e cinza, quando queimado, teria a "terra pinguis" (elemento gorduroso e combustível) liberada em forma de chama, restando a cinza[437]. A obra de Becher não teve muita repercussão, nem despertou interesse nos meios intelectuais europeus, mas foi adotada por Stahl, que a reeditou (1703).

A teoria do flogisto, desenvolvida por Stahl, principalmente na obra *Zymotechnia fundamentalis* (1697), é uma reformulação, até certo ponto, das ideias de Becher. Metais, papel, madeira, carvão – materiais diferentes, mas combustíveis – conteriam, em proporções desiguais, o "princípio do fogo" ou flogisto; assim, quando queimados, o flogisto existente nos materiais seria liberado, restando, por exemplo, no caso do carvão, as cinzas, e, em outros, fuligem. O metal, constituído por uma cal metálica mais o flogisto, perderia, quando aquecido durante a combustão, a substância flogística, voltando a ser cal (óxido). A operação inversa, de transformação dessa cal em metal, era possível, aquecendo-a com carvão, pois este perderia flogisto para a cal que, ao absorvê-lo, se reconstituiria como metal. Dessa forma, de acordo com a teoria, o metal seria um composto, e sua cal um elemento, pois o metal seria decomposto em seus constituintes mais simples (cal e flogisto); na Química Moderna, ao contrário, o metal é considerado uma substância elementar, e seu óxido (ou cal) um composto originário de sua combinação com outro elemento, o oxigênio. O flogisto seria invisível, imponderável e impossível de ser isolado, pois estaria sempre combinado com a "terra", presente nos corpos, ou com o ar; suas únicas manifestações sensíveis seriam a luz e o Calor.

Por explicar de forma aparentemente coerente e satisfatória um grande número de reações químicas, a teoria do flogisto teve ampla aceitação até 1789, no meio científico europeu, apesar das críticas do médico holandês Herman Boerhaave que, em 1732, publicou o célebre manual de Química intitulado *Elementa Chemiae*, no qual resumia o conhecimento químico da época; Boerhaave, grande opositor da Alquimia, foi, também, o introdutor do uso do termômetro no laboratório químico. Em pouco tempo, a teoria de Stahl era adotada, ainda que alguns problemas importantes surgissem, o que poderia por em dúvida a validade do flogisto. Desde Boyle e Hooke, sabia-se ser necessária a presença

[436] JAFFE, Bernard. *Crucibles*: *The Story of Chemistry.*
[437] STRATHERN, Paul. *O Sonho de Mendeleiev.*

do ar para a combustão, independentemente da presença ou não do flogisto. Experiências mostravam, ainda, que a queima, a altas temperaturas, de certas substâncias, como o mercúrio, o fósforo, o chumbo, o antimônio e o estanho, produzia matéria sólida (cal ou óxido) mais pesada que a original, enquanto a queima do carvão e do enxofre deixava resíduos sólidos menos pesados que as substâncias originais. Dessa forma, se do ponto de vista qualitativo a estivesse correta, ela não se aplicaria totalmente do ponto de vista quantitativo. Essa anomalia de peso não preocupava, no entanto, Stahl e seus adeptos, que explicavam o flogisto como um princípio imaterial, como o Calor, que fluía de uma substância para outra, transportado pelo ar circundante; nesse caso, questões de peso seriam irrelevantes[438].

O já citado Paul Strathern explicaria, a esse propósito, que "muitos químicos do período relutavam em aceitar argumentos baseados em medição". Galileu compreendera a importância da medição na Física, e Boyle enfatizara a necessidade de método experimental na Química; mas a importância da medição em experimentos estava longe de ser universalmente reconhecida pelos químicos. Embora tivesse, finalmente, se desprendido da pele múltipla da Alquimia, a Química continuava sendo essencialmente uma ciência de transformações. Estas eram mudanças qualitativas e, como tais, categoricamente diferentes das mudanças quantitativas da Física[439]. Em consequência, o argumento da anomalia de peso não se constituiria num problema.

A teoria do flogisto só seria desacreditada e abandonada com os trabalhos de Lavoisier, quando descobriu ser a combustão uma oxidação perfeitamente demonstrável, uma reação química resultante da combinação da queima de um combustível com o oxigênio do ar; o Calor e a luz que se liberam provêm do oxigênio gasoso e não da substância inflamável. Em consequência, para entendimento e ordenamento da questão da combustão é necessário, nesse ponto, tratar das experiências sobre a composição da atmosfera e da descoberta de alguns gases, principalmente do oxigênio, ou seja, com as descobertas da chamada Química dos gases.

6.14.2 A Química dos Gases

A descoberta de corpos gasosos diferentes do ar atmosférico seria um dos aspectos marcantes do desenvolvimento da Química no século

[438] LEICESTER, Henry M. *The Historical Background of Chemistry.*
[439] STRATHERN, Paul. *O Sonho de Mendeleiev.*

XVIII. A participação do ar nas reações de combustão e na respiração já fora mencionada por Galeno e em trabalhos da Idade Média; no século XVI, Cesalpino, Cardano, Scaliger, e outros, trataram do tema, buscando uma explicação no peso das partículas do fogo fixadas no metal. Van Helmont constataria a presença de um gás (do qual fora o descobridor) na combustão do carvão, na detonação da pólvora, na fermentação, na reação dos sais a alguns ácidos. Tal descoberta não significou, porém, aceitar que houvesse gases diferentes do ar comum, muito menos que fosse mistura de gases[440]. Ainda no século XVII, Boyle avançaria estudos importantes sobre o ar (gás) que nutria o fogo e a vida, escrevendo, inclusive, que os metais ganhavam peso quando queimados ao ar livre; Hooke designaria esse ar como nitro aéreo; e o médico Mayow explicaria a respiração pela mistura dessa substância com o ar atmosférico, e a combustão como uma reação entre as partículas do nitro aéreo e o antimônio. Tais ideias eram, contudo, em grande parte, especulativas, já que as experiências eram bastante limitadas pela falta de meios práticos de preparar e manipular os gases. Bombas de ar, capazes de recolher os gases desprendidos das reações químicas, foram construídas, por exemplo, por Boyle e Hooke, mas não eram suficientemente adequadas para permitir um acurado estudo quantitativo, tanto mais que a convicção de ser o ar um elemento não estimulava estudos sobre as características químicas dos gases.

Inovações nos aparelhos e nos métodos para recolher os gases proporcionariam as condições para o avanço nas experiências laboratoriais em um setor novo da pesquisa química. No particular, menção especial cabe ao reverendo Stephen Hales (1677-1761), químico e botânico, cuja grande contribuição foi a invenção de um aparelho que viria a ser muito importante para a coleta e o estudo dos gases. Construiu Hales uma tuba pneumática, que consistia de uma tina cheia de água sobre a qual se invertia um balão também cheio de água. O gás, ao chegar por um tubo ao balão invertido, deslocaria a água. Esse aparelho seria utilizado pelos químicos em suas experiências, como Cavendish, Priestley e Lavoisier. Procedeu, igualmente, Hales a experiências sobre a respiração vegetal, a fermentação e as reações químicas, as quais foram comunicadas à Sociedade Real e publicadas em 1727, sob o título *Vegetable Staticks* (*Estática Vegetal*), e em 1733, como *Haemastaticks*; as obras se tornaram um grande sucesso, traduzidas para o francês por Buffon e lidas pelos intelectuais em toda a Europa.

O grande desenvolvimento da Química dos gases ou Química pneumática se daria, no entanto, na segunda metade do século XVIII,

[440] FILGUEIRAS, Carlos. *Lavoisier – O Estabelecimento da Química Moderna.*

com a descoberta dos principais gases (carbônico, nitrogênio, oxigênio e hidrogênio), permitindo a elucidação do fenômeno da combustão, ao mesmo tempo em que a decomposição (análise) e síntese (composição) do ar e da água os retirariam da lista de elementos e acrescentaria o oxigênio, o hidrogênio e o nitrogênio nessa lista; outros gases seriam, igualmente, isolados, aumentando significativamente o conhecimento e a importância da Química dos gases.

6.14.2.1 Dióxido de Carbono

O físico e químico escocês Joseph Black (1728-1799), em 1756, ainda estudante de Medicina, apresentou em sua tese de doutorado – *Experiências sobre a Magnésia Alba, a Cal Viva e outras Substâncias Alcalinas* – suas conclusões das pesquisas com a "magnésia alba" (carbonato de magnésio), substância alcalina suave, muito usada, na época, na Medicina, no tratamento da "pedra" (cálculo)[441]. Percebeu Black que, ao ser aquecida, perdia a magnésia alba um pouco de sua massa. Como não se produzia nenhum sólido ou líquido, a massa perdida só podia ser ar, ou gás; além disso, a magnésia alba efervescia em presença de ácidos, liberando ar, ocorrendo o mesmo ao usar álcalis semelhantes. Concluiria Black que os álcalis suaves (carbonatos), como a magnésia alba, a potassa e a soda (carbonatos de potássio e de sódio) fixavam o ar. Verificaria, posteriormente, que esse ar fixado era diferente do ar atmosférico, correspondendo ao mesmo ar obtido na queima do carvão, na expiração da respiração humana ou na fermentação da cerveja. A diferença entre o gás e o ar podia ser demonstrada experimentalmente: borbulhando-se esse ar (gás) numa solução límpida de cal, formava-se, imediatamente, um precipitado de carbonato de cálcio; com o ar atmosférico não ocorria tal precipitação, a não ser que se deixasse passar o ar atmosférico por muito tempo na solução. Esse gás (dióxido de carbono), ao qual chamou de "ar fixo", é também conhecido como gás carbônico (CO_2), quimicamente diferente do ar atmosférico, o qual contém uma parcela ínfima dele. A afirmação de Black de ser o ar fixo um corpo diferente do ar atmosférico, o único corpo gasoso até então conhecido da Natureza, causaria sensação nos meios intelectuais, despertando a atenção e o interesse dos químicos por pesquisas nesse campo[442].

Deve-se registrar, também, a reação às ideias e explicações de Black, pelos defensores das concepções tradicionais de um só ar ou gás.

[441] BERNAL, John Desmond. *Ciência na História.*
[442] IHDE, Aaron J. *The Development of Modern Chemistry.*

Em 1764, o farmacêutico alemão, Friedrich Meyer, publicaria a teoria do *acidum pingue*, espécie de flogisto que, absorvido pelo carbonato de cálcio durante sua calcinação, o transformaria em cal viva; separado da cal, provocaria sua transformação em carbonato. Tal teoria, combatida pelo professor e botânico vienense Nicolaus Jacquin (1727-1817), seria pouco depois abandonada.

Médico e professor de Química na Universidade de Glasgow, Black daria grande contribuição, também, no campo da Física, com a introdução da noção de "Calor latente", em 1778, que viria a ser utilizada na teoria da combustão por Lavoisier[443].

6.14.2.2 Nitrogênio

Ao estudar as propriedades do ar fixo (dióxido de carbono), Black também demonstraria que uma vela, num recipiente fechado, se apagaria, pois sua queima produzia o dióxido de carbono; mesmo quando esse era retirado, por meios químicos, do recipiente, o ar residual não permitia a combustão da vela. Black encarregou seu aluno, Daniel Rutherford (1749-1810) para estudar essa fração do ar que não permitia a combustão. O assunto foi sua tese de doutorado (o ar chamado fixo ou mefítico), em 1772. Rutherford fizera experiências com rato, fósforo e vela; ao retirar o dióxido de carbono, constatou que o ar que sobrara ainda era mefítico e nocivo, já que a vela não queimava e o rato não conseguia viver. Como aceitava a teoria do flogisto, acreditou Rutherford que o ar havia recebido todo o flogisto que pudesse carregar, e que tal ar flogisticado não servia mais para a combustão e a respiração. A esse ar chamou de ar mefítico, hoje conhecido como nitrogênio, sendo sua verdadeira natureza demonstrada por Lavoisier.

Como ocorreria com várias descobertas na Química, outros pesquisadores, como o sueco Karl Scheele e os ingleses Joseph Priestley e Henry Cavendish, conseguiram, pela mesma época, isolar o gás, mas não prosseguiram no estudo da sua natureza e das suas propriedades, nem publicaram, em tempo hábil, seus trabalhos a respeito. A pesquisa de Scheele sobre o nitrogênio, que chamara de ar viciado e que Lavoisier denominaria azoto, só seria publicada em 1777, na qual indicou ter isolado o oxigênio, e, nitrogênio, em 1772.

---

[443] WOJTKOWIAK, Bruno. *Histoire de la Chimie.*

6.14.2.3 Oxigênio

A descoberta do gás carbônico e do nitrogênio (azoto) serviria de extraordinário incentivo aos químicos para o estudo e a pesquisa num novo campo, que parecia promissor. Essas experiências pioneiras resultariam, numa primeira etapa, no isolamento do oxigênio, e, posteriormente, na análise do ar, o que levaria ao perfeito entendimento das propriedades do novo gás como um dos elementos simples constitutivo do ar atmosférico e de seu papel na combustão. Nesse processo, os trabalhos de Priestley, Scheele e Lavoisier foram decisivos.

Joseph Priestley (1733-1804), filho de tecelão, órfão aos 7 anos, foi criado pela tia, que o destinou à carreira religiosa. Estudou numa academia reformista e foi pastor em pequenas igrejas em Suffolk e Cheshire[444]; reforçava seu ínfimo ordenado com aulas particulares. Estudioso de História e Filosofia, Priestley conhecia latim, grego, francês, alemão, italiano, árabe e aramaico. Em 1761, escreveu uma gramática da língua inglesa para seus alunos. Entre 1763 e 1765, acompanhou as conferências e as experiências de Química prática do cirurgião Matthew Turner, o que despertaria seu interesse pela Ciência. Em 1765, visitou, em Londres, o cientista Benjamin Franklin, que o incentivaria a estudar Eletricidade. Em 1766, foi eleito membro da Sociedade Real, e no ano seguinte publicaria uma *História e Situação Atual da Eletricidade*. Transferido, em 1767, para Leeds, começaria, nessa cidade, suas pesquisas no campo da Química, quando descobriria quatro gases. Após escrever, em 1772, uma obra sobre Óptica – *História e Situação Atual das Descobertas relativas à Visão, Luz e Cor* – e outra, *Sobre os Diferentes Tipos de Ar*, publicadas no *Philosophical Transactions* da Sociedade Real, Priestley mudou-se para Wiltshire, onde foi empregado por Lord Shelburne para seu bibliotecário e tutor de seus dois filhos. No final de 1774, viajou, acompanhando seu protetor e patrão, ao continente europeu (Alemanha, Bélgica, Holanda e França), tendo em seu encontro com Lavoisier, em Paris, trocado informações sobre as respectivas experiências com gases; nessa oportunidade, Priestley teria aludido a suas pesquisas com um novo gás (oxigênio)[445]. De regresso à Inglaterra, prosseguiria Priestley em seu trabalho no campo da Química pneumática, tendo, ao longo de sua vida, descoberto um total de dez gases. Em 1780, deixou os serviços de Lord Shelburne e se mudou para Birmingham, onde participou da famosa Sociedade Lunar, centro de debate filosófico e científico. Seu envolvimento e posicionamento em

[444] JAFFE, Bernard. *Crucibles*: *The Story of Chemistry.*
[445] JAFFE, Bernard. *Crucibles*: *The Story of Chemistry.*

controvertidos temas políticos (independência das 13 colônias americanas, Revolução Francesa, tráfico de escravos, representação política) e religiosos (intolerância religiosa, liberdade de crença) tornaria a opinião pública, a Igreja Anglicana, o Parlamento e as autoridades, hostis a ponto de sua casa e pertences em Birmingham terem sido queimados e destruídos, em 1791, em meio a uma violenta manifestação popular, instigada pela Igreja da Inglaterra, contra a Revolução Francesa. Escrito político representativo de seu pensamento foi o *Ensaio sobre os Primeiros Princípios de Governo e sobre a Natureza da Liberdade Política, Civil e Religiosa*. Priestley passaria a viver em Hackney, perto de Londres; porém, com a evolução dos acontecimentos na França (Terror, morte de Luiz XVI), seus três filhos emigraram (agosto de 1793) para os EUA, seguidos, em abril de 1794, pelo próprio Priestley e esposa. Nos EUA, fixaria residência na Pensilvânia e terminaria sua obra em seis volumes, *A General History of the Christian Church* (1790-1803).

Priestley desenvolveu intensa atividade experimental, focalizada na química dos gases, desde o momento no qual fixou residência em Leeds (1767). Morando próximo a uma cervejaria e atraído pelo forte cheiro exalado, obteve Priestley permissão para captar o ar que saía da mistura existente nos tanques. Após várias experiências, conseguiu diluir um pouco do gás (dióxido de carbono ou ar fixo de Black) em água, cuja solução, ligeiramente ácida, tinha um gosto agradavelmente picante e refrescante. Essa água gasosa é o que se chama de "soda", descoberta que faria a fama de Priestley e lhe valeria a Medalha Copley da Sociedade Real e ingresso na Academia de Ciências de Paris.

Priestley prosseguiria em suas pesquisas, tendo descoberto, até 1773, quatro gases: cloreto de amônia, cloreto de hidrogênio, dióxido de enxofre e óxido de nitrogênio; para tanto, seguiu a recomendação de Cavendish para utilizar o mercúrio, em vez de água, para a coleta de gases, o que lhe permitiria obter gases que anteriormente não o eram, porque se dissolviam na água[446]. Ao mesmo tempo, introduziu inovações em seus aparelhos e instrumentos de laboratório, como o de substituir a "bexiga" animal, onde se armazenava o gás, por um recipiente de vidro transparente. Suas descobertas e experiências seriam comunicadas à Sociedade Real a partir de 1772, sendo publicados seis volumes, entre 1774 e 1777, sob o título *Experimentos e Observações sobre Diferentes Tipos de Ar*[447].

O mercúrio, quando aquecido ao ar livre, forma um óxido de cor vermelha-tijolo, conhecido, há séculos, como "mercúrio precipitado *per se*", hoje chamado de óxido de mercúrio. Tinha já bastante experiência

[446] STRATHERN, Paul. *O Sonho de Mendeleiev.*
[447] IHDE, Aaron J. *The Development of Modern Chemistry.*

no uso dessa substância (mercúrio), a qual utilizava em suas pesquisas. Em 1 de agosto de 1774, Priestley, ao aquecer uma amostra desse óxido com raios do Sol, através de uma lente de aumento de diâmetro ajustado, descobriu que glóbulos prateados de mercúrio começaram a aparecer no meio da cinza vermelha; simultaneamente, a cinza em decomposição emitia um gás. Verificaria Priestley tratar-se de um ar sem cor, que tinha a propriedade de aumentar a chama do fogo:

> Uma vela ardia nesse ar com assombrosa força de chama; e um pedacinho de madeira ao rubro crepitou e queimou com prodigiosa rapidez, exibindo uma aparência algo semelhante â do ferro, fulgurando com um Calor branco e lançando faíscas em todas as direções. Mas, para completar a prova de qualidade superior desse ar, introduzi nele um camundongo; e numa quantidade em que, fosse isso ar comum, ele teria morrido em cerca de um quarto de hora, ele viveu... uma hora inteira.

O próprio Priestley provaria as qualidades e propriedades desse novo ar: "a sensação que provocou em meus pulmões não foi sensivelmente diferente da provocada pelo ar comum, mas tive a impressão de sentir meu peito profundamente leve e aberto por algum tempo depois". Deu o nome de "ar deflogisticado" à sua descoberta, pois, adepto da teoria do flogisto, acreditava que a ausência de flogisto no ar ou gás fazia com que certa quantidade desse "espírito" saísse com mais intensidade do fogo para ocupar o espaço vazio existente nesse ar. Para Priestley, o novo gás era, assim, uma forma de ar sem flogisto, um ar deflogisticado, razão pela qual o absorvia tão rapidamente. Descobrira o "oxigênio", sem saber que Scheele já o fizera dois anos antes, e, como o cientista sueco, sem considerá-lo um elemento simples, constitutivo do ar atmosférico, e responsável pela combustão[448].

Por suas importantes e numerosas contribuições e descobertas, o farmacêutico sueco Karl Wilhelm Scheele (1742-1786) ocupa uma posição de relevo na História da Química. Aprendiz de farmacêutico aos 14 anos, estudou e aprendeu Química por conta própria, estagiando em farmácias em Estocolmo, Malmoe e Uppsala. Quando famoso, recusou ofertas para ensinar em universidades e convite de Frederico II para ser "químico da corte", permanecendo farmacêutico dedicado à pesquisa química até seus últimos dias de vida[449]. Em 1770, conheceu o químico Torben Bergen (1735-1784), que o encorajaria a prosseguir em suas pesquisas. Em

[448] ROUSSEAU, Pierre. *Histoire de la Science.*
[449] TATON, René. *La Science Moderne.*

1775, foi eleito para a Academia Real de Ciências de Estocolmo, mudando-se, em seguida, para a cidade de Köping, onde se tornou proprietário de uma farmácia. Tímido e modesto, nenhuma de suas descobertas foi aceita sem disputas: em alguns casos, outros químicos haviam realizado independentemente a mesma descoberta (Rutherford, Priestley), em outros não havia aprofundado muito o assunto, o que seria aproveitado por outros (Gahn, Hielm, El Huyar). Com uma débil saúde, sofria de dores reumáticas; acredita-se que tenha falecido de envenenamento por mercúrio, posto que era dado ao hábito de provar os novos compostos que descobria. Em sua curta carreira (morreu aos 43 anos), Scheele descobriu vários ácidos orgânicos (tartárico, oxálico, gálico, úrico, láctico, cítrico), o mineral barita (1774), a proteína caseína, a glicerina (1783), pesquisou as propriedades dos gases fluoreto, sulfureto e cianeto de hidrogênio. Suas pesquisas estiveram diretamente ligadas à descoberta dos elementos cloro, manganês, bário, molibdênio, tungstênio, nitrogênio e oxigênio[450].

Especificamente na Química pneumática, publicou Scheele em 1777 a obra *Observações Químicas e Experimentos sobre o Ar e o Fogo*, na qual descreveria suas experiências e demonstraria ter descoberto, em 1772, o oxigênio (que chamara de "ar de fogo") e o nitrogênio (que chamara de "ar viciado"). Descobrira Scheele que o dióxido de manganês, quando fortemente aquecido, liberava um gás; em outras experiências, verificou que o mesmo gás podia ser produzido pelo aquecimento intenso do óxido de mercúrio, do carbonato de prata, do nitrato de magnésio e do nitrato de potássio; a demora em publicar tais pesquisas faria que a glória das descobertas coubesse, respectivamente, a Priestley e a Rutherford. A descoberta de Scheele chegou ao conhecimento de Lavoisier, por carta do próprio cientista sueco, de 30 de setembro de 1774. Ainda que tenha isolado esses dois gases, a adesão de Scheele à teoria do flogisto o impediria de compreender as propriedades desses gases, concluindo que "o flogisto, verdadeiro elemento, pode ser transmitido de um corpo ao outro; quando se combina com o "ar de fogo" resulta o calórico". O calórico, no curso da combustão ou da respiração, adere ao ar viciado e o torna mais leve[451].

A descoberta do oxigênio pelo químico e farmacêutico sueco tem, hoje, o reconhecimento internacional, sendo que muitos autores consideram ter sido o referido gás descoberto, independentemente, por Scheele (1772) e Priestley (1774).

A natureza elementar e as propriedades desse novo gás, a decomposição (análise) e recomposição (síntese) do ar atmosférico,

[450] IHDE, Aaron J. *The Development of Modern Chemistry.*
[451] WOJTKOWIAK, Bruno. *Histoire de la Chimie.*

substância composta, e uma nova teoria da combustão, em substituição à teoria do flogisto seriam obra de Antoine Laurent de Lavoisier (1743-1794).

O primeiro trabalho de Lavoisier no campo da Química foi a *Memória* apresentada à Academia de Ciências, em 1764, num concurso sobre iluminação pública em Paris, no qual abordou todos os aspectos da questão, como combustíveis, mecha, forma e material dos lampadários, modo de suspensão. Em 1767, estudou a composição das águas do Vosges, e depois, examinou o problema da água de Paris, que consistia em determinar se o resíduo sólido encontrado na água resultava da transmutação da água em terra; sua conclusão foi a de que não ocorria tal fenômeno da transmutação. Seus manuscritos de 1766/68 indicam ter adotado a ideia de que as substâncias podiam existir nos três estados – sólido, líquido e gasoso –, de acordo com a quantidade de matéria de fogo que estivesse combinada[452].

As pesquisas de Lavoisier sobre os gases foram devidas à sua procura por uma explicação científica para o fenômeno da combustão, já que era descrente da teoria de Stahl. Em outubro de 1772[453], utilizando o fósforo, elemento recentemente descoberto, que tinha a particularidade de queimar espontaneamente, Lavoisier constataria que "a quantidade de ácido fosfórico (hoje denominado pentóxido de fósforo) retirada do fósforo é maior que a quantidade de fósforo que a produziu. Esse aumento de peso, cuja proporção exata é fácil constatar, provém da combinação do ar que se fixa nessa operação". Lavoisier repetiria o experimento com o enxofre, tendo obtido mais ácido sulfúrico do que enxofre, depois da combustão.

Se a combustão fixava o ar, seria também possível liberá-lo, o que faria Lavoisier com a experiência de redução do óxido de chumbo, que, quando aquecido, se transformou, de novo, em chumbo, e formou uma quantidade de gás, que não era o ar atmosférico, mas o ar fixo (gás carbônico) de Black. Imediatamente (novembro de 1772), apresentaria Lavoisier uma "nota" à Academia de Ciências sobre sua descoberta:

> Há oito dias passados, descobri que o enxofre, queimando-se, longe de perder seu peso, acresce-o, isto é, que de uma libra de enxofre pode-se obter muito mais que uma libra de ácido vitriólico (sulfúrico), abstração feita da umidade do ar. O mesmo acontece com o fósforo: esse acréscimo de peso advém de uma quantidade prodigiosa de ar que se fixa durante a combustão, e que se combina com os vapores. Esta descoberta, que comprovei mediante

452 SERRES, Michel. *Elementos para uma História das Ciências.*
453 RIVAL, Michel. *Os Grandes Experimentos Científicos.*

> experiências que considero decisivas, levou-me a pensar que aquilo que observei na combustão do enxofre e do fósforo pode, muito bem, ocorrer em relação a todos s corpos que adquirem peso pela combustão e calcinação, e persuadiu-me que o aumento de peso das cais metálicas decorre da mesma causa. As experiências confirmaram completamente minha conjetura: fiz a redução do litargírio (óxido de chumbo), em vasos fechados, com o aparelho de Hales, e observei que se desprendia, no momento da passagem da cal ao metal, uma quantidade considerável de ar; e que esse ar correspondia a um volume mil vezes maior do que a quantidade de litargírio empregado. Esta descoberta pareceu-me uma das mais interessantes que se fizeram depois de Stahl, pelo que julguei dever assegurar-me a propriedade dela, fazendo o presente depósito nas mãos do secretário da Academia, para permanecer secreto até o momento em que vier a publicar minhas experiências.

Essa Nota viria a ser conhecida em 5 de maio de 1773, quando novos experimentos haviam confirmado as conclusões relatadas[454].

No *Opúsculos Físicos e Químicos*, ao final desse ano de 1773, Lavoisier descreveria o que se conhecia até então e relatou suas experiências realizadas naquele ano, prosseguindo com seus experimentos no ano seguinte.

Priestley, num encontro com Lavoisier, em Paris, em 1774, teria narrado seus experimentos e sua descoberta. Lavoisier, que não acreditava na existência do flogisto, considerou que o ar deflogisticado de Priestley (e ar de fogo de Scheele) e o ar fixo, de Black, deveriam ser gases componentes do ar atmosférico. Como os três outros citados químicos (Black, Scheele e Priestley) eram adeptos da teoria de Stahl, não souberam tirar todas as consequências de suas descobertas, limitando-se a entender tais gases em consonância com o flogisto[455].

A retomada (1775) das pesquisas de Lavoisier se daria concentrando os raios solares, mediante o auxílio de uma lente, sobre o óxido de mercúrio (então chamado de *mercurius calcinatus per se*); verificaria haver o aquecimento causado o desprendimento de um gás, que avivava a chama de uma vela ou de um carvão em brasa, e que era, também, favorável à respiração. Lavoisier calcinou (oxidou) uma onça de mercúrio e colocou o "precipitado *per se*" numa retorta que aqueceu; se estivesse certo, deveria obter, na retorta, mercúrio metálico e certa quantidade de ar deflogisticado (oxigênio). "Sua previsão foi confirmada: o fluido elástico colhido calcina outros metais, serve otimamente para a respiração dos animais, torna

[454] RIVAL, Michel. *Os Grandes Experimentos Científicos.*
[455] MASON, Stephen. *Historia de las Ciencias (volume 3).*

intensa a chama de uma vela, e, nele, o carvão queima com o brilho do fósforo". Lavoisier concluiu que esse gás (oxigênio) deve combinar-se com todos os corpos combustíveis e que a combustão nada mais é que essa combinação e não a perda do flogisto como, até então, afirmavam todos os químicos. A 25 de março de 1775, anunciaria que identificara no ar atmosférico uma parte mais própria para a respiração, "um ar mais puro, mais respirável do que o ar atmosférico".

Ao tomar conhecimento, em abril de 1776, dos trabalhos de Priestley, que mostravam que a combustão do carbono (C) acarretava a formação de gás carbônico (azoto), incapaz de sustentar a respiração, "compreendeu Lavoisier que o ar atmosférico é um verdadeiro corpo composto". Se composto, poderia ser o ar atmosférico decomposto e depois recomposto. Em uma cuba pneumática, com 50 polegadas cúbicas de ar atmosférico, calcinou, durante 12 dias, 4 onças de mercúrio. Ao final da operação, obteve 45 grãos de mercúrio precipitado, e o volume de ar inicial diminuiu 9 polegadas cúbicas. O ar residual apagou as velas e matou os animais utilizados na experiência. Parecia provado, observaria Lavoisier, que o mercúrio, calcinando-se, absorveu a melhor parte, a parte mais respirável do ar para deixar apenas a parte mefítica ou não respirável. Ao acrescentar "a parte mais respirável" ao gás restante na cuba, reconstituiu-se o ar atmosférico, concluindo Lavoisier: "Esta é a espécie de prova mais completa a que se pode chegar na Química, a decomposição do ar e sua recomposição"[456].

Em suas "conclusões", Lavoisier escreveria que "o ar da atmosfera não é um elemento, isto é, uma substância simples, mas uma mistura de diversos gases. O ar da atmosfera é composto de aproximadamente um quarto de ar deflogisticado, ou ar eminentemente respirável, e três quarto de um ar malcheiroso e nocivo". E ainda: "o princípio que se une aos metais durante sua calcinação, e que lhes aumenta o peso e os leva ao estado de cal, não é nem uma das partes constituintes do ar, nem um ácido particular espalhado na atmosfera, é o próprio ar, inteiro, sem alteração, sem decomposição".

Nessas pesquisas sobre a combustão, estudou Lavoisier, igualmente, o problema da respiração animal, contribuindo, assim, para a "Química dos seres vivos", muito mais complexa que a mineral. Numa *Memória*, de 1777, intitulada *Experiências sobre a respiração dos animais e sobre as mudanças que chegam ao ar depois de passar pelos pulmões*, completada em 1785, observaria após suas pesquisas sobre "as alterações do ar respirado":

---

456 RIVAL, Michel. *Os Grandes Experimentos Científicos.*

> os animais alimentam-se ou de vegetais ou de outros animais nutridos, por sua vez, de vegetais, de modo que os materiais que os formam são sempre extraídos do ar e do reino mineral. Finalmente, a fermentação, a putrefação e a combustão devolvem, perpetuamente, ao ar e ao reino mineral, os princípios que os vegetais e os animais dele retiraram. De que processo utilizou-se a Natureza para essa maravilhosa circulação entre os três reinos? Como consegue formar substâncias combustíveis fermentáveis e *putrecíveis* com materiais que não possuíam nenhuma dessas propriedades? São eles, até o presente, mistérios impenetráveis" (citado por Horta Barbosa).

Em duas *Memórias*, de 1789 e 1790, abordaria Lavoisier novamente o assunto, nos quais apresentaria explicações físico-químicas dos fenômenos vitais e dos psíquicos[457]:

> Esse gênero de observações conduz à comparação de forças empregadas, entre as quais pareceria nada existir de comum. Pode-se conhecer, por exemplo, a quantas libras, em peso, correspondem os esforços de um Homem que profere um discurso, de um músico que toca um instrumento. Poder-se-ia, mesmo, avaliar o que há de mecânico no trabalho de um filósofo que reflete, do Homem de letras que escreve, do músico que compõe. Esses efeitos, considerados como puramente morais, têm, no entanto, qualquer coisa de físico e de material.

Em 1777, Lavoisier apresentou à Academia o resultado de suas pesquisas sobre a composição do ar, que incluíam a repetição de seus experimentos de calcinação do mercúrio e da redução de sua cal.

Como a base de sua nova teoria era a negação da existência do flogisto, Lavoisier criaria, então, outro nome para esse componente respirável do ar atmosférico: primeiro chamou-o de "ar vital", por sua importância para a respiração, depois de "princípio oxigênio" (do grego "*oxus*" para ácidos e "*gens*" para criador), por julgar, erroneamente, encontrar-se em todos os ácidos; mais tarde, o gás seria chamado apenas de "oxigênio" (O). O constituinte inerte do ar, que Daniel Rutherford descobrira e denominara de ar mefítico e que Scheele chamara de ar impuro, seria igualmente reconhecido por Lavoisier, ao qual daria o nome de azoto (sem vida), que seria, depois mudado para nitrogênio (N) por Jean Chaptal (1756-1832). Estavam, assim, identificados os dois primeiros elementos gasosos – oxigênio e nitrogênio – de um total de 11 conhecidos na Natureza.

Ainda em 1777, declararia Lavoisier à Academia que havia um componente ilógico que transformava a teoria do flogisto num círculo

[457] BARBOSA, Luiz Hildebrando Horta. *História da Ciência.*

vicioso: "os corpos combustíveis contêm a matéria do fogo porque ardem, e ardem porque contêm a matéria do fogo". Em *Memória* intitulada *Reflexões sobre o Flogisto*, e apresentada em 1785 à Academia, Lavoisier escreveria que era necessário emitir opinião sobre o "erro funesto na Química, e que me parece ter retardado consideravelmente o progresso, pela maneira má de filosofar que ela introduziu", e mais adiante: "é tempo de reconduzir a Química a uma maneira mais rigorosa de raciocinar, de despojar os fatos com que essa Ciência se enriquece todos os dias daquilo que o raciocínio e os preconceitos lhe acrescem, de distinguir o que é de fato e de observação do que é sistemático e hipotético".

A teoria da combustão, formulada por Lavoisier, levantaria algumas resistências, mas diante das evidências acumuladas com os diversos experimentos levados a cabo nos anos seguintes, granjearia apoio generalizado nos diversos países europeus, vindo a substituir a teoria do flogisto em poucos anos. O único químico de valor a se manter fiel ao flogisto seria Joseph Priestley.

A rejeição de uma explicação metafísica, como a da ação de um "espírito" (flogisto) no desencadeamento de uma reação química, deve ser reconhecida como marco decisivo na evolução da Química especulativa e qualitativa para a Química Moderna, experimental, quantitativa e positiva.

6.14.2.4 Hidrogênio

Em 1766, o milionário e excêntrico Henry Cavendish (1731-1810), de família aristocrática, publicou na *Phylosophycal Transactions*, sob o título *Factitious Airs*, sua experiência, da qual resultara isolar e pesar o flogisto, gás inflamável que se originara dos metais, e não dos ácidos utilizados na pesquisa. Como ninguém isolara o flogisto, a notícia causou sensação, convencendo muitos, Priestley inclusive, da correção das afirmações e conclusões de Cavendish[458].

No estudo que fizera sobre os experimentos a respeito do fogo e do flogisto, verificara Cavendish que o médico e alquimista suíço Teofrasto Paracelso, no século XVI, havia provocado borbulhas de ar ao jogar pedaços de ferro em ácido sulfúrico; o gás resultante era inflamável. Experiência semelhante, pelo médico holandês Jan van Helmont, no século XVII, comprovava as informações de Paracelso, mas, como ele, não prosseguiu na pesquisa sobre o gás. Boyle e Hales haviam, igualmente, manipulado o gás, sem, contudo, estudar sua natureza e suas propriedades.

[458] JAFFE, Bernard. *Crucibles*: *The Story of Chemistry.*

Cavendish, em seu laboratório, construído em sua mansão, repetiria a mesma experiência, ampliando-a com outros metais e ácidos. Num frasco colocou ácido sulfúrico, jogando aí pedaços de ferro; fechou o gargalo do recipiente com cortiça, através da qual introduziu um tubo de vidro que, na outra ponta, terminava numa bexiga animal. No frasco, formaram-se bolhas de um gás incolor, que subia do metal para a superfície do ácido, que daí, através do tubo de vidro, chegava à bexiga; quando esta estava cheia do gás, selou a bexiga. A experiência foi repetida usando pedaços de zinco e de estanho, num total de três bexigas, e depois, repetiria Cavendish essas três experiências com ácido clorídrico, preparando, assim, mais três bexigas repletas de gás. Ao aquecê-las com uma vela, verificou Cavendish que o gás queimava com uma chama azul pálido; em seguida, passou o gás por tubos para secá-los completamente de umidade e os pesou separadamente; eram leves, e o peso era igual para as seis amostras de gás[459]. Em novas experiências, variou Cavendish a quantidade dos pedaços dos metais, verificando que a quantidade de "ar inflamável" dependia da quantidade usada do metal, o que o levaria a concluir, erroneamente, que o gás provinha do metal, e não do ácido, e que se tratava do flogisto.

Henry Cavendish foi um misantropo, esquivo, distraído, de poucas palavras; vestia-se com roupas velhas e puídas como um pobretão, apesar de ser um dos homens mais ricos do país, ter tido, em determinado momento, a maior conta no Banco da Inglaterra, e ter legado a seus herdeiros uma fortuna calculada em um milhão de libras esterlinas. Não se casou, e consta que evitava olhar e conversar com as mulheres. Pouco religioso, não frequentava a igreja. Estudou Cavendish na Universidade de Cambridge (1749/53), porém não chegou a se formar. Membro da Sociedade Real de Londres, frequentava, regularmente, suas sessões, mas se esquivava de qualquer atividade social. Dedicou-se totalmente à pesquisa científica no campo da Física e da Química; para tanto, construiu excelentes e amplas instalações para uma biblioteca e um laboratório em sua mansão. Não se preocupou em publicar suas pesquisas, exceção do *Factitious Airs*, em 1766, e do *Experiments on Air*, em 1784, no qual tratou, especificamente, de sua descoberta do hidrogênio e da análise e síntese da água. É célebre o que passou a ser chamado de "experimento Cavendish" (1798), na determinação da densidade da Terra por meio de uma balança de torção. Seus trabalhos em Eletricidade e Calor só seriam descobertos e publicados, por iniciativa de James Clerk Maxwell, em 1879.

[459] JAFFE, Bernard. *Crucibles*: *The Story of Chemistry.*

Cavendish prosseguiria com suas pesquisas nos domínios da Química e da Física nos anos restantes da década de 60 e durante todos os anos de 70, interessando-se, particularmente, i) pelas experiências do italiano Giovanni Beccaria (1716-1781) que, ao descarregar uma faísca elétrica na água, observara ter emergido um gás, que não soube isolar e estudar; ii) pela pesquisa, em 1774, do inglês John Warltire, que, para verificar se o Calor tinha peso ou não, ateou fogo, por meio de faísca elétrica, numa mistura de ar comum e hidrogênio, constatando perda de peso dos gases e a formação de "orvalho" (suor, rocio); e iii) pelos experimentos do francês Pierre Joseph Macquer (1718-1784), nos quais, ao colocar um pires branco na chama do "hidrogênio", constatou que a parte do pires tocada pela chama continuava branca, porém "estava úmida por gotas de um líquido como a água"[460].

Cavendish soube, também, que Priestley, em abril de 1781, usando a faísca elétrica, incendiara uma mistura de ar comum e hidrogênio num recipiente de vidro, tendo obtido o mesmo resultado que Warltire e Macquer, ou seja, a formação de água. Interessado em outro assunto, Priestley não atentou para a importância do experimento, revelando que "pouco se pode esperar do fogo do ar inflamável em comparação com os efeitos da pólvora".

Com todas essas informações disponíveis, Cavendish, que já descobrira o ar inflamável, em 1766, refaria a experiência de Priestley utilizando um cilindro fechado de vidro, no qual introduziu 423 medidas de hidrogênio e 1000 de ar comum; com a descarga elétrica, "todo o hidrogênio e cerca de 1/5 do ar comum perderam sua elasticidade e se condensaram em orvalho que aderiu ao vidro". Ainda não convencido de que o orvalho era pura água potável, Cavendish procedeu a uma série de experiências, pesando, inclusive, os gases e todo o material antes e depois da descarga elétrica, verificando que não houve perda, nem ganho de peso; constataria, igualmente, sempre, ao final das experiências, que dois volumes de hidrogênio (flogisto) desapareciam para um volume de oxigênio (ar deflogisticado), sendo o peso da água igual ao peso dos gases. Nessas experiências, usara Cavendish o eudiômetro, instrumento recém-inventado por Alessandro Volta, que permitia produzir uma faísca elétrica num recipiente fechado. A conclusão de Cavendish, adepto do flogisto, foi a de que a formação da água era devida à sua liberação dos dois gases durante a flogisticação do ar deflogisticado[461].

Apesar de ter informado Priestley, em março de 1783, de suas experiências e de sua conclusão, somente em janeiro de 1784, Cavendish

---

460 JAFFE, Bernard. *Crucibles: The Story of Chemistry.*

461 LEICESTER, Henry. *The Historical Background of Chemistry.*

leria sua *Memória* sobre suas pesquisas perante a Sociedade Real, com a conclusão de que "a água consiste de ar deflogisticado unido ao flogisto". O atraso na publicação da descoberta teria sido motivada pelas pesquisas a que procedera Cavendish para estudar a pequena bolha de gás que se formava após a descarga elétrica na mistura de ar inflamável e ar comum (com nitrogênio), gerando ácido nítrico. A pequena bolha de gás seria identificada, em 1894, como "argônio" (Ar), elemento gasoso que participa apenas com 0,93% no volume do ar atmosférico.

Há muito estava Lavoisier interessado na combustão do gás inflamável, tendo mandado construir aparelhos pneumáticos para armazenar oxigênio e hidrogênio, os quais, por meio de tubos e torneiras, podiam ser misturados. Em junho de 1783, Charles Blagden, secretário e colaborador de Cavendish, relatou a Lavoisier, em Paris, os resultados das experiências do químico inglês. Em 24 de junho, na presença de Blagden, Jean Baptiste Meusnier, Adrien Legendre e de vários acadêmicos, Lavoisier e Pierre Simon de Laplace fizeram a síntese da água em quantidade razoável (cerca de 25 milímetros), a partir do oxigênio e hidrogênio puros misturados numa caixa pneumática cheia de mercúrio. Queimada a mistura de gases, a superfície do mercúrio ficou coberta de gotas de água; separados água e mercúrio, o volume de água foi pesado; vários testes comprovaram não se tratar de ácido; diversos reagentes foram empregados, sem qualquer reação positiva que indicasse a presença de qualquer outra substância, além da água. Dois dias depois, Lavoisier e Laplace anunciaram na Academia de Ciências: "a água não é uma substância simples; ela é composta, peso a peso, de ar inflamável e de ar vital".

Apesar do sucesso da demonstração e das enfáticas declarações de Lavoisier, sua experiência não conseguira medir os volumes de cada um dos gases empregados na pesquisa, sendo, assim, uma experiência qualitativa. Restava a análise dos gases. Nos dias 27 e 28 de fevereiro e 1º de março de 1785, realizaria Lavoisier experimentos públicos, sob controle da Academia, que consistiam na decomposição e recomposição da água pura[462]: uma quantidade medida de água percorria, gota a gota, um cano de fuzil de ferro levado à incandescência e se decompunha em hidrogênio e oxigênio; o hidrogênio, saturado de vapor d'água, ao passar por uma cuba pneumática de água, recolhia o hidrogênio; o oxigênio, que não era conservado, oxidava pouco a pouco o cano de fuzil; o hidrogênio ficava saturado de vapor d'água; uma parte do vapor d'água escapava à decomposição, condensava-se em uma serpentina com gelo e

[462] FILGUEIRAS, Carlos. *Lavoisier – O Estabelecimento da Química Moderna.*

o hidrogênio prosseguia pela tubulação, até ser coletado num recipiente cheio de água, emborcado numa cuba também cheia de água. No caminho inverso, o hidrogênio obtido era usado para fazer a síntese da água com o oxigênio preparado pela decomposição térmica do óxido de mercúrio. A relação a que chegou Lavoisier da composição da água foi de 85 e 15 (os valores corretos são 88,81% de oxigênio e 11,19% de hidrogênio), o que não invalida a experiência, que provou poder ser a água decomposta em oxigênio e hidrogênio, os quais, por sua vez, podem ser combinados reconstituindo a mesma água. A água deixou de ser um elemento, para ser uma substância composta pelos dois gases. Lavoisier, posteriormente, daria o nome de hidrogênio (gerador de água) ao gás.

Esse gás, invisível e inflamável, despertaria grande interesse na comunidade científica e muita curiosidade na opinião pública. Em junho de 1783, os irmãos e inventores Joseph e Jacques Montgolfier conseguiram elevar um balão de papel, com ar aquecido, a 45 metros de altura por uma distância de mais de 2 km em 10 minutos; no mesmo ano, fariam uma demonstração em Paris, sendo que o balão, dessa vez, levava um carneiro, um pato e um galo. Numa outra demonstração pública (novembro de 1783), o balão dos Montgolfier, ainda de ar aquecido, alçou voo com os passageiros Pilâtre de Rozier e o marquês de Arlandes[463]. O físico Jacques Charles (1746-1823) construiria o primeiro balão de hidrogênio, em tecido impermeabilizado, realizando uma ascensão em dezembro do mesmo ano.

O aspecto importante no debate que se seguiu às experiências de Cavendish e Lavoisier foi o relativo à teoria da composição da água, e não o esclarecimento de quem realmente, por primeira vez, isolou o hidrogênio. Para Cavendish, que efetuara a síntese da água, tanto o ar deflogisticado (oxigênio), quanto o ar flogisticado (hidrogênio) eram a própria água, apenas alterada pela abundância ou escassez do flogisto e que, com a fusão explosiva dos dois ares, a água voltava ao seu natural. Para Lavoisier, que se opunha à teoria do flogisto, sua interpretação ao efetuar a síntese da água foi, contudo, que esta era um composto de oxigênio e hidrogênio. A conclusão do químico francês viria a prevalecer, resultando na rejeição definitiva da teoria de Stahl.

6.14.2.5 Outros Gases

A Química dos gases, ainda no século XVIII, registraria importantes descobertas, além dos três elementos gasosos – nitrogênio (N), hidrogênio

463 ROUSSEAU, Pierre. *Histoire de la Science.*

(H) e oxigênio (O), e do dióxido de carbono (CO_2). Outro elemento gasoso foi isolado: cloro (Cl), por Karl Scheele, em 1774, devido às pesquisas que efetuava sobre o mineral manganês, usado na coloração do vidro; o estudo de sua natureza e propriedades, inclusive de se tratar de um "elemento", foi, no entanto, obra de Humphry Davy, em 1810.

Scheele descobriria, ainda, os gases fluoreto de hidrogênio, sulfureto de hidrogênio e cianeto de hidrogênio.

Na Itália, o físico Alessandro Volta retiraria gás metano dos pântanos, gás que seria estudado por Bertholet, em 1781; o etileno foi identificado, em 1786, por quatro químicos holandeses – Bondt, Deiman, Lauwerenburg e Troostwyk[464].

Joseph Priestley, um dos descobridores do oxigênio, descobriria, igualmente, mais sete gases – amônia, óxido nítrico, óxido nitroso, dióxido de nitrogênio, dióxido de enxofre, tetrafluoreto de silício, monóxido de carbono.

6.14.3 Elementos e Substâncias Compostas

Além do extraordinário significado da ampliação do conhecimento químico pelas descobertas no novo domínio do estado gasoso, outras áreas foram igualmente pesquisadas, como as dos metais, dos óxidos, dos sais e dos ácidos. Nesse processo, vários "elementos" seriam descobertos, ainda que identificados como tais a partir da reformulação da Química por Lavoisier.

Até o início do século XVIII, eram conhecidos 14 metais, os quais, contudo, não eram considerados "elementos", visto que prevalecia a teoria aristotélica dos 4 elementos. O prosseguimento das pesquisas levaria à descoberta de mais 14 metais, 1 semimetal e 4 gases, que viriam a ser, oportunamente, reconhecidos como elementos. A primeira "lista de elementos" (33, com alguns erros) foi preparada por Lavoisier e consta de seu *Tratado Elementar de Química*, onde alterou o conceito de "elemento", que passaria a ser a substância resultante da última etapa da Análise.

Ao final do século, mais 18 elementos já estariam descobertos: i) os seguintes 13 metais – cobalto (Co), em 1735, pelo químico sueco Georg Brandt (1694-1768); platina (Pt), encontrada em 1740, no México, por Antonio Ulloa e estudada e trabalhada por Fausto El Huyer; zinco (Zn), em 1746, pelo químico alemão Andréas Marggraf (1709-1782); níquel (Ni), em 1754, pelo sueco Axel Cronstedt (1722-1765); manganês (Mn),

[464] TATON, René. *La Science Moderne.*

em 1774, pelo sueco Johann Gottlieb Gahn (1745-1818); molibdênio (Mo), em 1781, pelo sueco Peter Jacob Hielm (1746-1813); tungstênio (W), em 1785, pelos espanhóis Fausto e Juan José El Huyer; ítrio (Y), em 1789, pelo finlandês Johann Gadolin (1760-1852); urânio (U), em 1789, pelo químico alemão Martin Klaproth (1743-1817); zircônio (Zr), em 1789, por Martin Klaproth; berílio (Be), em 1789, pelo químico Louis Vauquelin (1763-1829); titânio (Ti), em 1791, pelo pastor e mineralogista inglês William Gregor (1761-1817), e confirmado como elemento, em 1795, por Klaproth; cromo (Cr), em 1798, por Louis Vauquelin; ii) o semimetal telúrio (Te), em 1782, pelo mineralogista austríaco Franz Joseph Muller (1746-1825), e confirmado como elemento em 1798, por Klaproth; e iii) os quatro gases – nitrogênio (N) em 1772, por Daniel Rutherford; oxigênio (O), por Karl Scheele, em 1772, e Joseph Priestley em 1774; hidrogênio (H), em 1766, por Henry Cavendish; e o cloro (Cl), por Karl Scheele, em 1774. Deve-se acrescentar que a platina (Pt) foi isolada em 1804, por William Wollaston (1766-1822), e o berílio (Be), em 1828, por Friedrich Wohler (1800-1882).

Já no início do século XIX, um grande número de elementos (16), todos metálicos, seriam descobertos, graças à eletrólise, possibilitada pela utilização da corrente elétrica, criada por Volta em 1800. São eles, até 1811: vanádio (Va) e nióbio (Nb), em 1801; tântalo (Ta), em 1802; cério (Ce), em 1803; ródio (Rh), paládio (Pa), irídio (Ir) e ósmio (Os), em 1804; sódio (Na) e potássio (K), em 1807; estrôncio (Sr), boro (B), magnésio (Mg), cálcio (Ca) e bário (Ba), em 1808; e iodo, em 1811[465].

Significativo avanço foi, também, registrado no conhecimento das substâncias compostas, contribuindo, dessa forma, para um melhor entendimento dos fenômenos químicos. Desde a Antiguidade que vários ácidos, como o nítrico, o sulfúrico e o clorídrico, e diversos sais eram conhecidos, tendo os alquimistas contribuído para essas conquistas. O conhecimento dessas substâncias era, contudo, precário e empírico, e a noção bastante confusa.

No campo dos "ácidos", o grande pesquisador foi, sem dúvida, o farmacêutico sueco Karl Wilhelm Scheele, que preparou os ácidos tartárico (1769), fórmico (1774), prússico e úrico (1776), múcico e lático (1780), cítrico e oxálico (1784), málico (1785), gálico (1786), benzoico (1782) e a glicerina (1783)[466]; e os ácidos molíbdico (1778) e túngstico (1781). O alemão Marggraf produziu o ácido fosfórico, e o francês Vauquelin, os ácidos químico e cânfrico. Lavoisier, de 1775 a 1777, estudou a composição dos ácidos, concluindo que a transformação dos metais em cais e a dos

[465] LEICESTER, Henry. *The Historical Background of Chemistry.*
[466] WOJTKOWIAK, Bruno. *Histoire de la Chimie.*

metaloides em ácidos era devida a uma combinação de corpos queimados com oxigênio, e que os sais eram constituídos pela união desses produtos da combustão.

Quanto aos sais, van Helmont, no século XVII, seria o primeiro a especular que a união de um ácido com uma base poderia conduzir a um sal; Johann Glauber obteria ácido clorídrico tratando sal marinho com ácido sulfúrico, e Robert Boyle, em seus estudos, dividiria as substâncias compostas em ácidos, álcalis e sais. Apesar dos experimentos pioneiros, pouco se avançou sobre a natureza e a composição dos sais. O químico francês Henri Duhamel de Monceau (1700-1782) diferençou, em 1736, a soda (carbonato de sódio) da potassa (carbonato de potássio) e demonstrou que o sal marinho tinha por base um álcali fixo cristalizável. O químico Guillaume François Rouelle (1703-1770), professor de Leblanc, Diderot e Lavoisier, efetuou um trabalho pioneiro de classificação dos sais, ainda que fora uma classificação de cunho mais mineral do que química, em que o formato do cristal era fundamental e determinante da classificação. Rouelle estabeleceu seis "seções" de sais: sais médios, sais neutros, sais de cristais tetraédricos, sais de cristais em forma de paralelepípedo, sais com cristais longos e de pouco diâmetro e sais com cristais em agulha. Em 1754, Rouelle, numa *Memória* à Academia de Ciências, dividiria os sais neutros em sais ácidos, sais perfeitos (neutros) e sais com excesso de base; nos sais ácidos, o excesso de ácido estaria combinado e não juntado, pelo que a combinação de um ácido com uma base teria limites, a que chamou de "saturação".

Lavoisier, em sua análise da combustão, julgava que os "sais metálicos", considerados, até então, corpos simples, resultavam da união do oxigênio com os metais. Admitiu, então, Lavoisier, que os óxidos entravam sempre na composição dos sais, que seriam compostos de óxido e de ácido. Esse engano seria evidenciado em 1789, quando Berthollet demonstraria que os ácidos sulfídrico e cianídrico não contêm oxigênio, e, em 1809, por Gay-Lussac e Thenard com o ácido muriático. O esclarecimento dos sais como resultantes de reação entre ácidos e bases só ocorreria no século XIX.

6.14.4. A Nova Nomenclatura Química

As profundas modificações e os grandes avanços ocorridos na Química, principalmente a partir de meados do século XVIII, requeriam uma completa reformulação na designação das substâncias, tanto para expressar uma nova concepção do sistema químico, quanto para nomear as recentes descobertas (gases, óxidos, ácidos, sais, metais).

A análise do ar e da água, a nova concepção de elemento (sepultando a milenar teoria dos quatro elementos), a nova teoria antiflogística da combustão, as novas substâncias e o abandono definitivo da Alquimia foram algumas das principais inovações e reformas que tornariam imprescindível a criação, como na Botânica, por Linneu, de uma nomenclatura química, coerente e conforme a Filosofia formadora da nova Ciência. Importantes químicos, como o sueco Torben Bergman, e o francês Pierre-Joseph Macquer, entre outros, não escondiam sua insatisfação com uma situação que prejudicava o avanço na pesquisa e dificultava o ensino e a divulgação da Química.

A situação era verdadeiramente caótica. Denominações múltiplas para a mesma substância, terminologia obscura, linguagem enigmática, ranço alquímico, falta de regras e de critérios tornavam a nomenclatura usual assistemática, totalmente inadequada para os requisitos de uma nascente Ciência.

Alguns exemplos são elucidativos dessa inadequação: manteiga de antimônio, manteiga de estanho (cloreto de estanho hidratado), óleo de vitríolo (ácido sulfúrico), creme de tártaro, sabão de vidraceiro (óxido de manganês), espírito do sal (ácido clorídrico), açafrão de marte (óxido de ferro), *aqua fortis* (ácido nítrico), espírito de vinho (álcool), ácido de Benjamim (ácido benzoico), cristais de Vênus (acetato de cobre). Tais designações perpetuavam uma tradição que não poderia perdurar numa química positiva, de análise quantitativa.

Uma nova Ciência requeria, assim, uma nomenclatura específica, própria, que refletisse o pensamento de uma nova Filosofia científica, de uma nova teoria química, e, ao mesmo tempo, redundasse na ruptura irreversível com o passado, em que os textos antigos, "tornados ilegíveis, seriam mergulhados numa obscura Pré-história"[467]. Em outras palavras, era necessário criar uma linguagem que estivesse de acordo com a teoria, uma nomenclatura científica, sistemática e universal que pudesse expressar, de forma coerente e criteriosa, a composição química da substância.

Em sessão do dia 18 de abril de 1787, Lavoisier leu sua *Memória*, na qual apresentava sua proposta de nomenclatura química. Os propósitos de Lavoisier com a proposta, e sua importância para a nascente Química, estão claramente expostos:

> o método, que é tão importante de introduzir no estudo e no ensino da Química, está estreitamente ligado à reforma de sua nomenclatura; uma língua na qual se perceberá a ordem sucessiva e natural das ideias, provocará

[467] SERRES, Michel. *Elementos para uma História das Ciências.*

> uma revolução necessária e mesmo rápida na maneira de ensinar; ela não permitirá àqueles que professarem a Química separar-se da marcha da Natureza; será preciso rejeitar a nomenclatura ou seguir irresistivelmente a rota que ela terá marcado.

E mais adiante:

> é tempo de desembaraçar a Química dos obstáculos de toda espécie que retardam seu progresso e de introduzir nela um verdadeiro espírito de análise, e nós estabelecemos, suficientemente, que era pelo aperfeiçoamento da linguagem que esta reforma deverá operar-se. Estamos ainda longe, sem dúvida, de conhecer todo o conjunto, todas as partes da Ciência; deve-se esperar, portanto, que uma nomenclatura nova, se bem que feita com cuidado, estará longe de seu estado de perfeição; contanto que ela seja elaborada sobre bons princípios, contanto que seja um método de designar, e não mera nomenclatura, ela se adaptará naturalmente aos trabalhos que serão realizados a seguir; ela marcará, de início, o lugar e o nome das novas substâncias que poderão ser descobertas e não exigirá reformas senão locais e particulares.

Alguns químicos, como Torben Bergman e Guyton de Morveau, haviam tentado estabelecer, separadamente, mas sem sucesso, uma nomenclatura química, procurando harmonizar conceitos e tradições com a nova Química. Em 1785, Guyton de Morveau apresentou, por exemplo, à Academia de Ciências, um projeto de nomenclatura, no qual para os corpos de composição incerta ou controvertida, criava um nome totalmente arbitrário. Essas iniciativas despertaram o interesse de Lavoisier, que considerava fundamental, para o futuro da nova Ciência, a criação de uma linguagem apropriada e adequada ao conhecimento contemporâneo da Química.

Nesse sentido, reuniu a seu redor químicos convertidos à sua teoria, com o objetivo de reescrever e sistematizar a nomenclatura química: Louis Bernard Guyton de Morveau (1737-1816), Claude Louis Berthollet (1748-1822), Antoine François de Fourcroy (1755-1809), Pierre Auguste Adet (1763-1834) e Jean Henri Hassenfratz (1755-1827), além de alguns matemáticos, como o geômetra Gaspard Monge[468]. O grupo se reunia no "Arsenal", laboratório de Lavoisier, sob sua direção. Na divisão de trabalho a que procedeu, Lavoisier encarregou-se de definir a filosofia e estabelecer os grandes princípios norteadores da obra. Caberia a Guyton de Morveau (que renunciara a seu projeto de nomenclatura conciliatória)

[468] LEICESTER, Henry. *The Historical Background of Chemistry.*

a preparação dos pormenores de sua aplicação; a Fourcroy, a elaboração de uma tabela de novas designações, seguida de um dicionário com a correlação entre os nomes novos e antigos; e a Adet e Hassenfratz, um novo sistema de símbolos, para substituir os velhos símbolos alquímicos. Como explicou a já citada Bernadette Bensaude-Vincent,

> o princípio de base é uma lógica da composição: constituir um alfabeto de palavras simples para designar as substâncias simples, depois designar as substâncias compostas por palavras compostas, formadas por justaposição de palavras simples. A composição é sempre binária e se indica a proporção dos constituintes com a ajuda de um sufixo[469].

Cada substância devia ter um nome, que, no caso das substâncias simples, expressaria, sempre que possível, suas características, e das substâncias compostas, sua composição em termos de seus constituintes simples. Assim, ácidos e bases seriam designados por seus elementos, e os sais por seus ácidos e bases constitutivos[470]. Alguns exemplos seriam os nomes simples (potassa, álcool, oxigênio) e nomes compostos (ácido sulfúrico, óxido de ferro, acetato de cobre). Após alguns meses, terminada a obra, Lavoisier a apresentaria à Academia (18 de abril de 1787), sendo publicada, poucos meses depois, com o título de *Método de Nomenclatura Química*.

O método simples, expressivo e lógico, da nomenclatura proposta, foi rapidamente adotado pelos químicos na Europa. A obra foi traduzida para o inglês e o espanhol no ano seguinte; para o italiano, em 1790; para o alemão, em 1793. O sucesso da metodologia junto aos meios acadêmicos e intelectuais resultaria, em poucos anos, no abandono definitivo da prática antiga de deixar ao arbítrio do pesquisador ou do público a escolha, sem qualquer critério, dos nomes das substâncias. A parte referente à simbologia não seria, contudo, adotada nos círculos químicos.

6.14.5 Tratado Elementar de Química

Desde 1785, estava claro, para Lavoisier, que a Química tradicional baseava-se em conceitos equivocados; sua convicção decorria de sua interpretação dos resultados de suas experiências e das de outros químicos. Provara ele não ser correta a teoria, vigente desde Aristóteles,

[469] SERRES, Michel. *Elementos para uma História das Ciências.*
[470] LEICESTER, Henry. *The Historical Background of Chemistry.*

dos 4 elementos, pois demonstrara, pela análise e síntese, não serem a água e o ar elementos, mas compostos, respectivamente, de oxigênio e hidrogênio, e de oxigênio e nitrogênio; conseguira, igualmente, destruir a noção de que o fogo era o "princípio da combustão". Havia, portanto, necessidade de se refazer o conceito de elemento. A publicação, em 1787, do *Método de Nomenclatura Química* criava uma linguagem apropriada para sua teoria, dando-lhe, agora, condições de expor as bases da nova Química, em formação.

Consciente de seu papel de criador da nova Ciência e da necessidade de deixar registrado todo o processo de estabelecimento da nova Química, Lavoisier publicaria, em 1789, sua obra mais importante, o *Tratado Elementar de Química*, na qual desenvolveria "passo a passo suas ideias, mostrando coerência entre a doutrina e a prática. É uma obra original e abrangente, pois une a teoria à prática de modo sistemático..."[471]. Para um grande número de autores, a data de 1789, com a publicação do *Tratado*, marca o início da Química Moderna.

O livro foi editado em dois volumes, num total de 653 páginas, além do *Discurso Preliminar* e das pranchas desenhadas por sua esposa, Marie Anne. O primeiro volume, dividido em duas partes, trata, na primeira, da formação dos gases e de suas reações químicas, da combustão das substâncias simples e da formação de óxidos; a segunda se refere às reações dos ácidos com as bases e da formação dos sais. O segundo volume é um manual prático, com a descrição dos aparelhos e as operações usuais no trabalho experimental. Ao final, são apresentados várias tabelas e um glossário de termos químicos.

No *Discurso Preliminar*, Lavoisier assinala que "me impus a lei de não proceder jamais senão do conhecido ao desconhecido, de não deduzir nenhuma conseqüência que não derive imediatamente dos experimentos e das observações, e de encadear os fatos e as verdades químicas na ordem mais apropriada para facilitar o entendimento aos principiantes". Mais adiante, ao tratar dos elementos, Lavoisier escreveria que se "ligarmos ao nome de elementos ou princípios dos corpos a ideia do último termo que alcança a análise, todas as substâncias que ainda não pudemos decompor por nenhum meio são, para nós, elementos". Elemento passaria, portanto, a ser entendido como aquela substância obtida na última fase da Análise química, ou seja, aquela que não pode ser mais decomposta.

Na primeira parte do primeiro volume, trata Lavoisier da constituição da atmosfera, mostrando, com base em seus experimentos, ser o ar composto de dois gases principais; elabora a respeito do oxigênio

[471] FILGUEIRAS, Carlos. *Lavoisier – O Estabelecimento da Química Moderna.*

e de seu papel na formação dos óxidos, da decomposição da água e da combustão; estuda a ação do fogo em substâncias orgânicas e sobre os diferentes tipos de fermentação, terminando com um estudo sobre sais e suas bases correspondentes[472].

No início da segunda parte do primeiro volume, apresentaria Lavoisier uma tabela de substâncias simples ou elementares, num total de 33 elementos, incluídos aí, erroneamente, a luz e o calórico. Os elementos estão divididos em quatro classes: na primeira, "as substâncias simples que pertencem aos três reinos e que se podem considerar como elementos dos corpos": luz, calórico, oxigênio, azoto e hidrogênio; na segunda, as seis substâncias "simples não metálicas oxidáveis e acidificáveis": enxofre, fósforo, carbono, radical muriático, radical fluórico e radical borácico; na terceira, as 17 "substâncias simples metálicas oxidáveis e acidificáveis": antimônio, prata, arsênico, bismuto, cobalto, cobre, estanho, ferro, manganês, mercúrio, molibdênio, níquel, ouro, platina, chumbo, tungstênio, zinco; e na quarta, as cinco "substâncias simples salificáveis terrosas": cal, magnésia, barita, alumina e sílica.

Dessa lista de elementos, Lavoisier incluiu três ainda desconhecidos, exceto em compostos com outros elementos: radicais muriático (cloro), fluórico (flúor) e borácico (boro). Além da inclusão errônea da luz e do Calor, Lavoisier compôs a quarta classe de elementos com óxidos: a cal é óxido de cálcio, a magnésia é óxido de magnésio, a barita é óxido de bário, a alumina é óxido de alumínio, e a sílica é óxido de silício (esses óxidos só seriam reduzidos aos metais correspondentes no século seguinte). O próprio Lavoisier reconhecia, no entanto, para essas cinco "terras", que "se pode presumir que as terras cessarão em breve de ser contadas como substâncias simples". Para a exclusão da soda e da potassa (carbonatos de sódio e de potássio), Lavoisier apresentou a seguinte explicação: "não inclui na tabela os álcalis fixos, tais como a potassa e a soda, porque essas substâncias são evidentemente compostas, mesmo que ainda se ignore a natureza dos princípios que entram em sua composição".

Na segunda parte do primeiro volume, Lavoisier trata da formação dos ácidos pela ação do oxigênio em substâncias não metálicas como o enxofre, o carbono, o azoto e o fósforo, e do hidrogênio na síntese da água. No restante do volume, descreve um grande número de reações de preparação e propriedades de muitos compostos químicos.

No segundo volume do Tratado, dedicado aos aparelhos usados em laboratório, Lavoisier descreveu muitos desses aparelhos, como as balanças, os gasômetros, o Calorímetro; explica algumas operações

[472] FILGUEIRAS, Carlos. *Lavoisier – O Estabelecimento da Química Moderna.*

mecânicas, como a moagem, a pulverização, o peneiramento, a lavagem, a filtragem e a decantação; trata dos meios empregados para a separação ou a reunião de substâncias diferentes, como a dissolução, a lixiviação, a evaporação, a cristalização, a destilação simples e a sublimação; descreve, entre outras, as destilações múltiplas, as dissoluções de metais, o aparelho para a decomposição da água; descreve as operações relativas à combustão e à detonação; e, finalmente, trata dos fornos, necessários para operá-las em altas temperaturas.

Com o intuito de explicar e divulgar a obra, bem como os avanços ocorridos na Química, nos últimos tempos, Lavoisier e seu grupo do "Arsenal" criaram, em 1789, uma revista trimestral (mensal a partir de 1791), *Annales de Chimie*, que era publicada com a aprovação da Academia de Ciências e seria imediatamente distribuída na França e na Inglaterra.

6.14.6 O Princípio da Conservação da Matéria

A ideia da conservação da matéria não é recente, pois já fora objeto de especulação de alguns filósofos gregos, como Anaxágoras[473] (nada nasce, nem morre, mas coisas já existentes se combinam, e, depois, se separam outra vez), Empédocles (no Mundo não há criação, nem destruição dos elementos, mas apenas combinações e transformações) e Parmênides (algo não pode surgir do nada, nem desaparecer em nada). Mais tarde, os experimentos alquimistas tinham o mero objetivo de alcançar a transmutação dos metais, sem a preocupação de análise do processo das reações químicas provocadas. Era teoria aceita que a combustão implicava na decomposição das substâncias compostas com perdas do "princípio inflamável" presente no enxofre; a queima provocaria a perda de peso.

No século XVII, van Helmont, pioneiro no estudo científico dos gases, argumentaria que as causas secundárias não podiam destruir a matéria. Utilizando a balança, demonstraria que se um peso de silício fosse convertido em cristal solúvel, e este fosse tratado com ácido, o resultante ácido de silício precipitado daria, ao ser queimado, o mesmo peso do silício empregado no início do experimento. Van Helmont mostraria também que os metais dissolvidos em ácidos minerais podiam ser recuperados de novo. Jean Rey (1583-1645), a propósito de suas pesquisas sobre o estanho e o chumbo, escreveria, em 1630, ao padre Mersenne, que "o peso está tão estreitamente ligado à primeira matéria do elemento que, se mudar um no outro, eles manterão sempre o mesmo peso" e que o peso que cada

[473] TATON, René. *La Science Antique.*

porção de matéria tem em sua origem, ela o terá sempre[474]. Em 1678, Edme Mariotte (1620-1684) escreveria no *Ensaio de Lógica*, ser uma máxima de regra natural que a Natureza não fazia nada do nada, e que a matéria não se perdia. Isaac Newton, na *Óptica*, defendia, igualmente, o mesmo ponto de vista, de forma a que a Natureza pudesse ser durável. Ao mesmo tempo, muitos estudiosos e pesquisadores, como van Helmont e Georg Stahl, aceitavam a hipótese de que, após a ebulição e a evaporação da água, o resíduo deixado no fundo do recipiente era água transmutada em "terra"; alguns, como Boerhaave e Duhamel de Monceau contestavam, porém, tal possibilidade.

No século XVIII, o tema evoluiria, principalmente, com as pesquisas de Lavoisier. Antes, porém, cabe menção especial aos trabalhos do russo Mikhail Vasilievich Lomonosov (1711-1765), considerado o "primeiro e o maior cientista russo", um dos fundadores da Universidade de Moscou (1755), hoje Universidade Lomonosov, primeiro professor de Química do país na Universidade de São Petersburgo (1745), autor da primeira História da Rússia (1761) e da gramática da língua (1755), que o tornaria o pai da língua literária russa. Além de suas observações no campo da Astronomia e de suas pesquisas pioneiras na Física (Luz, Calor), Lomonosov, adepto da teoria atomista, dedicou-se à Química. Primeiro a registrar o congelamento do mercúrio, foi extremamente crítico da teoria do flogisto, antecipou a teoria cinética dos gases devido à agitação das moléculas, e, entre 1740 e 1750, sugeriu, em seus escritos, o princípio da conservação da massa, tendo tacitamente assumido que um corpo quando ganhava peso, outro corpo teria perdido peso equivalente. Sua obra, publicada em russo, não foi conhecida nos grandes centros científicos da Europa ocidental, não tendo exercido, por isso, influência nas pesquisas dos físicos e químicos dos outros países[475].

Lavoisier, conhecedor dos experimentos de van Helmont, resolveu repeti-los, a fim de verificar se realmente ocorria a alegada transmutação de água em terra. Sua experiência, na qual adotaria seu método de trabalho de tudo pesar, antes e depois da operação, foi realizada em 1768, no início de sua carreira de químico, utilizando um recipiente de vidro chamado de "pelicano", pelo seu formato, em que o vapor destilado saía por dois tubos laterais do balão de aquecimento e era condensado, retornando ao balão; com o pelicano fechado, podia-se ferver o líquido sem qualquer perda de material. Lavoisier ferveu água, durante o período de 101 dias, pesando o conjunto antes e depois da operação em suas balanças, para verificar, ao contrário da crença

[474] ROSMORDUC, Jean. *Uma História da Física e da Química.*
[475] IHDE, Aaron J. *The Development of Modern Chemistry.*

geral, que o peso do conjunto era o mesmo no início e no fim do experimento. Evaporando a água, constataria Lavoisier que o resíduo sólido produzido correspondia ao material perdido pelo vidro do pelicano no processo; o sólido que aparecia era formado pelo ataque da água quente sobre o vidro[476]. Não havia transmutação elementar, nem perda de peso durante o processo.

A partir daí, trabalharia Lavoisier segundo o princípio de que as substâncias em uma reação química podiam ser transformadas, mas seu peso global permaneceria sempre o mesmo. A balança passaria a ser instrumento indispensável em suas pesquisas, assegurando o acompanhamento, passo a passo, de cada etapa do processo. Ao longo de sua carreira de pesquisador, Lavoisier repetiria experiências de outros químicos, como Cavendish, Priestley, Scheele, com o propósito de assegurar que suas conclusões de caráter teórico estivessem baseadas em experiências de grande rigor experimental. As pesquisas dos anos 70 e 80, com balanças de grande precisão, dariam a Lavoisier a convicção de que todas as mudanças químicas obedeciam à lei da indestrutibilidade da matéria, de que em toda reação havia sempre uma igual quantidade de matéria antes e depois da operação, de que não havia perda nem ganho de matéria no processo químico[477].

No célebre *Tratado Elementar de Química* (1789), em capítulo referente a suas pesquisas sobre fermentação, Lavoisier refinaria o conceito de conservação da matéria:

> Podemos estabelecer como um axioma que, em todas as operações da arte e da natureza, nada é criado; uma quantidade igual de matéria existe antes e depois do experimento; a qualidade e a quantidade dos elementos permanecem precisamente as mesmas, e nada ocorre além de variações e modificações na combinação desses elementos. Neste princípio se fundamenta toda a arte de executar experimentos químicos; devemos sempre supor uma igualdade entre os elementos do corpo examinado e aqueles dos produtos de sua análise. Assim, já que o mosto da uva produz ácido carbônico e álcool, eu posso dizer que o mosto da uva é igual a ácido carbônico mais álcool...

O conhecido enunciado popular do princípio da conservação da quantidade da matéria – "na Natureza nada se cria e nada se perde, tudo se transforma" – não é de autoria de Lavoisier, como tampouco "numa reação química, a massa das reagentes é igual à massa dos produtos"[478].

---

476 FILGUEIRAS, Carlos. *Lavoisier – O Estabelecimento da Química Moderna.*
477 JAFFE, Bernard. *The Story of Chemistry.*
478 FILGUEIRAS, Carlos. *Lavoisier – O Estabelecimento da Química Moderna.*

Essas conclusões, com o correspondente conceito de conservação da matéria, transformariam a Química de simples técnica de manipulação das substâncias numa Química experimental e quantitativa, de grandes repercussões imediatas, como a da descoberta das "leis ponderais".

6.14.7 Leis Ponderais e Leis Volumétricas

Até Lavoisier, a Química era, basicamente, qualitativa. Com o objeto de determinar o número de elementos na composição das substâncias compostas e de demonstrar que o elemento era corpo simples, e não um composto, foi introduzido na nova Química o critério metodológico da medição rigorosa. Consequência imediata dessa mudança radical do sistema químico seria descobrir a relação matemática na composição das substâncias, expressando-a por meio de números na notação química. Estudos, entre outros, de Antoine Baumé, Torben Bergman, Richard Kirwan, Karl Friedrich Wenzel e Guyton de Morveau, não foram capazes de elucidar a complexa questão da relação ponderável dos elementos na composição dos corpos, mas contribuíram para a descoberta experimental e formulação, ao final do século XVIII, e início do XIX, das chamadas "leis ponderais", básicas na elaboração da teoria atômica. A obtenção dessa relação matemática entre as massas de corpos em reação e sua expressão numa linguagem matemática seria a primeira notável conquista de uma nova Química.

A primeira dessas Leis é conhecida como "das proporções definidas" ou "Lei de Proust". Ainda que estabelecida em 1799, só seria enunciada em 1801, e, em sua forma definitiva, em 1806: "os elementos só se unem entre si para formar uma combinação dentro das proporções de peso absolutamente definidas". Louis Joseph Proust (1754-1826) descobriria, em 1799, que o carbonato de cobre continha proporções definidas pelo peso de cobre, de carvão e de oxigênio; de qualquer forma em que fosse preparado, a combinação seria sempre de 5 de cobre, 4 de oxigênio e 1 de carbono. Pesquisas em outras substâncias confirmavam uma proporção definida de peso de seus componentes, o que levou Proust a generalizar que os compostos continham elementos em proporções definidas e simples. Na síntese da água, por exemplo, a 2 g de hidrogênio só se podem unir 16 g de oxigênio, ou múltiplos destas duas massas: 4 g e 32 g, ou 8 g e 64 g, etc. No caso de dois elementos se unirem em proporções ponderáveis variáveis, as combinações obtidas são, qualitativamente, diferentes. Assim, a união de 12 g de carbono a 16 g e 32 g de oxigênio resulta, no primeiro caso, em

óxido de carbono, e, no segundo, em gás carbônico[479]. Ainda de acordo com esta Lei, um composto pode ter dois elementos na proporção 3:1, mas não em proporções complexas, como 3,21:1 ou 2,80:1; ao mesmo tempo, significa que 100 g de oxigênio combinados com 12,5 g de hidrogênio produzem 112,5 g de água, numa relação precisa de 1 para 8. Essa Lei estabelece a constância da composição e permite distinguir as misturas e as combinações[480].

A segunda Lei é a das "proporções múltiplas", também conhecida pelo nome de seu autor, o meteorologista e químico inglês John Dalton (1766-1844), mediante a qual, quando, com a mesma quantidade de um elemento, combinam-se quantidades diferentes de outro elemento, formando compostos diferentes, as massas desses últimos são múltiplas da menor delas e formam uma série simples. Assim, com 28 g de nitrogênio podem combinar-se 16 g de oxigênio, bem como os múltiplos desta quantidade, isto é, 16x1, 16x2...16x7, dando lugar a 7 diferentes óxidos de nitrogênio. Dalton pesquisaria o metano, o etileno e vários óxidos de nitrogênio: o metano é composto de carbono e hidrogênio na proporção de peso de 3 para 1, e o etileno, na proporção de 6 para 1, o que significa ter o etileno duas vezes a proporção de hidrogênio contida no metano. Baseando-se na "lei das proporções definidas", de Proust, de que a proporção ocorria em termos inteiros, como 3:1, e nunca 2,9:1 ou 3,1:1, concluiria Dalton que cada elemento seria formado por partículas indivisíveis (átomos); assim, se uma partícula de um elemento pesasse 3 vezes mais que a partícula de outro elemento com o qual formasse um composto, a proporção de peso seria sempre de 3 para 1 e nunca de 2,9 para 1 ou de 3,1 para 1. A teoria atômica de Dalton (1808) será examinada como formulação teórica da Química do século XIX.

A terceira lei ponderal, conhecida como de "números proporcionais", é de autoria do mineralogista e químico alemão Jeremias Benjamim Richter (1762-1807), defensor da aplicação da Matemática na Química. Segundo a "Lei de Richter", que estabeleceu a relação numérica na composição dos diferentes corpos, "a proporção em que os elementos se substituem mutuamente nos compostos é invariável". As pesquisas de Richter se concentraram em ácidos e bases, desde 1792, concluindo que estas substâncias se neutralizavam em proporções fixas. Assim, se 36,5 g de ácido clorídrico exigem 35 g de hidróxido de amônia, ou 40 g de hidróxido de sódio ou de 56 de hidróxido de potássio, então para neutralizar outro ácido serão necessárias quantidades, de qualquer das referidas bases,

[479] ROSMORDUC, Jean. *Uma História da Física e da Química.*
[480] IHDE, Aaron J. *The Development of Modern Chemistry.*

que estarão entre si na relação de 35:40:56. Em 1794, Richter publicaria *Bases da Estoiquiometria ou A Arte de Medir os Elementos Químicos*, com a demonstração de suas experiências.

Além dessas três leis ponderais ou quantitativas, duas outras leis, referentes especificamente aos gases, seriam formuladas em 1809, por Joseph Louis Gay-Lussac (1778-1850), bastante experiente em gasometria. Ao realizar a síntese da água, constatou Gay-Lussac que dois volumes de hidrogênio se combinavam a um volume de oxigênio para dar dois volumes de vapor d'água. Estudos anteriores (Boyle, Amontons, Mariotte) mostravam que, à temperatura fixa, o produto (volume x pressão) de um gás permanecia constante, ou, em outras palavras, que o volume é inversamente proporcional à pressão. Pesquisando a influência da temperatura sobre a pressão e o volume de um gás, demonstraria Gay-Lussac que suas variações eram lineares para todos os gases; em consequência, formularia (1802) sua primeira lei, que estabelece que, desde que dois gases se combinem, existe uma relação simples entre seus volumes, medidos nas mesmas condições de temperatura e de pressão. Sua segunda lei (1808) estabelece que quando dois gases se combinam e que a combinação resultante é igualmente gasosa, existe uma relação simples entre seu volume e aquele dos gases constituintes. Essas leis mostram, portanto, que nas combinações químicas, os gases se comportam de maneira idêntica. A descoberta de Gay-Lussac significava, em outras palavras, que, os gases, ao se combinarem, seus volumes mantém uma relação numérica simples entre si, bem como com os volumes dos produtos, sempre e quando sejam também gases. Assim, são necessários sempre 2 volumes de hidrogênio e 1 de oxigênio para fazer a água; 3 volumes de hidrogênio e 1 de nitrogênio para produzir o gás amoníaco; ou 1 volume de hidrogênio e 1 de cloro para dar origem ao cloreto de hidrogênio[481].

Essas cinco Leis Quantitativas, com a famosa "Hipótese", poucos anos depois, do físico italiano Amedeo Avogrado, viriam a abrir o caminho para a definitiva formulação da teoria atômica.

6.14.8 Química Industrial

Antecedendo o surgimento, no século XIX, da "grande indústria" química, resultante da Revolução Industrial, o desenvolvimento artesanal e da pequena manufatura se baseou, no século XVIII, em técnicas e processos de produção suficientes para atender à demanda da Sociedade.

[481] IHDE, Aaron J. *The Development of Modern Chemistry.*

Aperfeiçoamento de equipamentos, como fornos maiores e mais resistentes; novos e mais eficientes decantadores, filtros e aquecedores; melhoramentos de mecanismos de moer e triturar e de apetrechos para facilitar o escoamento de líquidos; instrumentos mais precisos de medição (balanças, termômetros); e mais adequadas instalações caracterizaram o principal aspecto da evolução de técnicas químicas até o início do século XIX. Nesse período, as técnicas operacionais permaneceriam praticamente sem mudanças: calcinação para decomposição de produtos sólidos de óxidos, de sulfatos, de sulfuretos e de nitratos; dissolução, seguida de dupla decomposição para a preparação de certos sais; decantação; filtragem e cristalização[482]. A incipiente e nascente indústria manufatureira assegurava uma oferta adequada para as necessidades imediatas de consumo da população de produtos de diversos ramos, como de extração vegetal e mineral, papel, vidro, couro, têxtil, tapeçaria, ceras e sabões, perfumaria e unguentos, bebidas, tintas e corantes, metalurgia, medicamentos, cerâmica.

Como pouco se alterou o número de compostos minerais e orgânicos, os produtos da indústria química permaneceram praticamente os mesmos, se bem que tenha havido evolução, do ponto de vista de suas características e de seu desenvolvimento. O final do período registra, contudo, importante crescimento da indústria de ácido sulfúrico, insumo básico para outras indústrias químicas na produção de carbonato de sódio, de alume, de cloro, de fósforo, de águas minerais artificiais, de vela de cera, etc. Outra indústria que se desenvolveu bastante, a partir do fim do século XVIII, seria a de carbonato de sódio, abastecedora das indústrias de vidro, sabões, detergentes, etc.

Se não surgiram novos processos originais de produção, o século XVIII se constituiria, no entanto, num período extremamente importante, ao elaborar as bases de fabricação, em grande escala, que utilizaria a Química no século XIX para criar uma indústria em novos padrões. Dessa forma, a Química Moderna, fundada por Lavoisier e sua geração, só teria um impacto positivo no desenvolvimento da Química industrial a partir do século seguinte.

6.15 História Natural

O século XVIII é considerado por muitos autores como a idade de ouro da História Natural[483], a qual permaneceria dedicada, quase

---

[482] DAUMAS, Maurice. *Histoire Générale des Techniques.*
[483] MAYR, Ernst. *Histoire de la Biologie.*

que exclusivamente, à descrição e classificação dos espécimes dos reinos vegetal, animal e mineral. O estudo crítico e investigativo, determinante fundamental para um reexame de conceitos impostos por considerações de ordem não científica não teria ambiente favorável para se desenvolver. Preconceitos, suposições e revelações continuavam, como no passado, a servir como fontes principais das teorias nos campos da História Natural; o *Gênese* tudo explicava, e o Dilúvio era ponto de referência para compreender os fósseis e as espécies animais, que permaneciam imutáveis, desde a Criação. Apesar de estarem os pesquisadores limitados a se pautar pelos ensinamentos das Escrituras, sob pena de censura e perseguição, explicações alternativas começaram a ser contempladas por alguns estudiosos. Muitos naturalistas, ainda que imbuídos de crenças religiosas e sujeitos a um espírito metafísico, buscariam, sem sucesso, conciliar os resultados de suas pesquisas com os textos sagrados, ou provar a veracidade desses ensinamentos. A publicação da *Enciclopédia Francesa*, na segunda metade do século XVIII, teria um extraordinário impacto nos meios intelectuais europeus, forçando um debate cuja consequência viria a ser a prevalência do espírito laico, investigativo e crítico sobre quaisquer outras considerações no exame das Ciências da Terra e do Homem[484]. O conflito Religião X Ciência, até então circunscrito às Ciências Exatas, se estenderia ao amplo âmbito da natural.

A grande importância do debate, ainda que inconclusivo, nos campos da Geologia e das Ciências biológicas (Fisiologia animal e vegetal) no Século das Luzes, foi trazer à discussão temas tabus, assuntos já aparentemente resolvidos com as explicações teológicas. Origem e idade da Terra, fósseis, formação das espécies, reprodução animal, geração espontânea, entre outros, seriam temas conflitivos que dominariam boa parte da controvérsia, dividindo os naturalistas em campos opostos. A taxonomia vegetal, animal e mineral, abarcando as esferas da Geologia, Botânica e Zoologia, seria, igualmente, objeto de controvérsia, já que refletia a posição de seus autores sobre os grandes temas em debate.

Nesse processo, os argumentos em favor de teorias tradicionais, baseadas em fontes estranhas à Ciência, perderiam consistência, na medida em que contrariavam evidências de uma evolução geológica e biológica distinta da até então apresentada como incontestável. A rejeição das teses, sem fundamentação científica, seria, contudo, paulatina, gradual, lenta e parcial, dadas as forças da resistência da tradição e da Teologia nos meios intelectuais. A controvérsia prosseguiria no século XIX; apesar do acúmulo de provas em favor das teses baseadas em fatos comprovados

[484] TATON, René. *La Science Moderne.*

experimentalmente, somente no final desse século viria a prevalecer a explicação científica sobre a fantasiosa[485].

Enquanto se processava o debate sobre alguns temas específicos, prosseguiam as pesquisas em Mineralogia, em Estratigrafia, em Paleontologia, em Fisiologia vegetal e animal, em Anatomia comparada e em outros campos da História Natural. Estudos pioneiros sobre o sistema nervoso e o cérebro apareceriam no final do século, época em que se fundaria a "Histologia", pelas pesquisas de Xavier Bichat sobre os tecidos.

Os significativos avanços registrados na Física e na Química, no século XVIII, refletiriam nas pesquisas no campo da História Natural, contribuindo, assim, para seu desenvolvimento. Exemplos marcantes dessa estreita e profícua influência recíproca são as contribuições das experiências de Lavoisier sobre a combustão para o entendimento da "respiração", da Eletricidade para o conhecimento da área mineral e compreensão da "Eletricidade animal". Ao mesmo tempo, o esforço de taxometria na esfera da História Natural influenciaria a iniciativa de classificação e de nomenclatura Moderna na Química.

Adicionalmente, ampliou-se o campo de ação da História Natural, com a grande atividade de coleta e análise de material da flora, da fauna e de minerais das várias partes do Globo. Diversas missões, patrocinadas pelos governos e pelas Academias, seriam enviadas, com pesquisadores, às várias regiões da Terra, em busca de espécimes de plantas, animais e minerais desconhecidos na Europa. A constante descoberta de material e o acúmulo de um acervo, até então inimaginável, aumentariam o interesse e aguçariam a curiosidade dos meios intelectuais pela História Natural. Herbários foram criados (o famoso Kew Garden, em Londres, data de 1759) em diversos países (Itália, Espanha, Suécia, Províncias Unidas), bem como museus e coleções públicas e particulares. Na Inglaterra, o acervo particular de Hans Sloane viria a ser o núcleo do futuro Museu Britânico, e o de Joseph Banks, presidente da Sociedade Real, rivalizava com as melhores coleções no continente europeu; na França, René Antoine Réaumur abriu ao público sua coleção, e o Jardim e o Gabinete do Rei, em Paris, seriam transformados, em 1793, em Museu de História Natural, onde se passou a lecionar Zoologia, primeiro a cargo de Étienne Geoffroy Saint-Hilaire, e, depois, de Lamarck e Lacépède[486].

A obra de Georges Louis de Leclerc, conde de Buffon (1707-1788), membro da Academia de Ciências de Paris (1733) e diretor do *Jardin du Roi* (1740), por 41 anos, ocupa uma posição de destaque na História Natural, por seu

[485] TATON, René. *La Science Moderne.*
[486] ROUSSEAU, Pierre. *Histoire de la Science.*

pioneirismo de uma versão naturalista, sem ranço religioso ou metafísico, da História da Terra, inclusive de sua Botânica, zoologia e mineralogia. Apesar de alguns equívocos conceituais, como o da geração espontânea, a obra representa um marco importante na evolução das Ciências Naturais, ao se ater a causas naturais para explicar os fenômenos. É, nesse sentido, uma obra representativa do espírito laico, experimental e investigativo do Século das Luzes, expresso pela *Enciclopédia*. Em 1751, a Faculdade de Teologia da Sorbonne apontou 14 proposições da História Natural contrárias aos ensinamentos da Igreja, sendo quatro sobre a Teoria da Terra[487]. Sua monumental e abrangente "História Natural", de 36 volumes, publicados de 1749 a 1788, e completada, com mais oito volumes, por seu colaborador, Bernard de Lacépède (1756-1825), teria uma imensa repercussão, transformando-se num grande divulgador da História Natural e tornando seu autor muito popular. Os três primeiros volumes (Zoologia e Teoria da Terra) foram publicados em 1749; os volumes 4 a 15 (quadrúpedes), de 1753 a 1767; os volumes 16 a 24 (pássaros) e os volumes 25 a 31 (miscelâneas e Épocas da Natureza), de 1770-1783; os volumes 32 a 36 (minerais), de 1783 a 1788; os oito últimos volumes, de autoria de Lacépède, foram os de n° 37 e 38 (répteis), em 1788/89; os de n° 39 a 43 (peixes), em 1798/1803; e o volume n° 44 (cetáceos), em 1804[488].

No campo específico da Geologia, menção especial cabe à obra *Teoria da Terra* (1795), do escocês James Hutton (1726-1797), cujo insucesso, à época, é atribuído ao estilo confuso e pouco atraente do autor, e às ideias expostas, pouco ortodoxas e contrárias aos ensinamentos adotados nas universidades. Obra de cunho estritamente científico, a *Teoria da Terra* não procurou explicar a origem das coisas, não evocou causas hipotéticas. Como o próprio Hutton escreveu, "na interpretação da Natureza, não se deve recorrer a forças que não sejam naturais ao nosso Globo, não admitir outras ações, além daquelas cujos princípios conhecemos, nem propor acontecimentos extraordinários para elucidar fatos de ocorrência comum"[489]. A obra está dividida em quatro partes, as duas primeiras sobre a origem das rochas, a terceira referente aos estratos terrestres antes no fundo do mar, e a quarta relativa à preexistência dos continentes e dos animais. Dado o fracasso da obra, o professor John Playfair (1748-1817) publicou, em 1802, seu livro *Ilustrações da Teoria Huttoniana*, no qual, numa linguagem clara e num estilo elegante, explicou e ilustrou a Teoria de seu mestre, tornando-a conhecida dos meios intelectuais, onde passaria a contar com alguns adeptos.

[487] TATON, René. *La Science Moderne.*
[488] ROUSSEAU, Pierre. *Histoire de la Science.*
[489] TRATTNER, Ernest. *Arquitetos de Ideias.*

Dentre os grandes naturalistas desse século, cujas contribuições foram decisivas para o progresso do conhecimento científico, é indispensável citar, além de Buffon e Hutton, o sueco Karl Linnaeus ou Linneu (1707-1778), cujas mais importantes obras foram *Systema Naturae* (1735), sobre o método de classificação, *Genera Plantarum* (1737), com a descrição dos gêneros de 935 plantas, *Philosophia Botanica* (1751), *Species Plantarum* (1753). Na edição de 1758, do *Systema Naturae*, estendeu sua classificação ao reino animal. Suas classificações das plantas, animais e minerais tiveram grande impacto nos meios intelectuais, se bem que a da Botânica teria mais êxito. Na 10ª e última edição (1758) do *Sistema da Natureza*, Linneu anunciou seu sistema de nomenclatura binominal, ou de dois nomes, (um para o gênero e outro para a espécie), para as plantas e os animais. Absolutamente convencido da imutabilidade das espécies, escreveria Linneu na Introdução das últimas edições do *Sistema* que "vi as costas do Deus infinito, onisciente e todo-poderoso, quando Ele se foi, e fiquei tonto. Segui seus passos pelos campos da Natureza e vi, em todo lugar, a sabedoria e o poder eternos, a inescrutável perfeição"[490].

Os estudos, as pesquisas, as descobertas e o debate no amplo campo da História Natural redundariam num significativo avanço experimental em relação ao século anterior, e estabeleceriam a metodologia científica para a estruturação da Biologia no século XIX.

Dada a abrangência dos grandes temas controvertidos, e sua repercussão nas diversas disciplinas geológicas e biológicas, deve-se, na evolução da História Natural no século XVIII, examinar, de início, em cada capítulo correspondente, esses complexos e polêmicos assuntos, de forma a esclarecê-los e colocá-los em perspectiva.

6.15.1 Geologia

Grandes conquistas foram obtidas nas pesquisas e nos debates sobre a vasta área da Geologia, principalmente na segunda metade do século XVIII, ainda que, em muitos casos, não tivesse sido possível alcançar uma explicação científica para os vários fenômenos examinados. O grande assunto, polêmico, para o qual contribuiu, principalmente, Georges Buffon, seria o da origem, formação e idade da Terra, cujos desdobramentos teriam ampla e profunda influência no século XIX, em particular sobre a Teoria da Evolução das Espécies. Descobertas significativas (fósseis, animais extintos) ocorreriam pelo trabalho de

[490] RONAN, Colin. *História Ilustrada da Ciência.*

paleontólogos, teorias sobre a formação da crosta terrestre seriam debatidas (netunismo e plutonismo), pesquisas pioneiras indicariam uma "Pré-história" até então desconhecida. O enfoque estritamente científico da obra de James Hutton, com o princípio do uniformitarismo acerca da evolução geológica da Terra, seria um marco fundamental para os futuros trabalhos de Charles Lyell. A Mineralogia, com a obra do abade René Just Haüy, se tornaria uma disciplina da Geologia.

No desenvolvimento geral dos estudos e das pesquisas geológicas, devem ser realçados, também, os trabalhos de Jean Etienne Guettard, Horace Saussure, Jean Louis Daubenton, Nicolas Desmarest, Romé de l'Isle, Abraham Werner, Jean Soulavie e William Smith, entre outros.

6.15.1.1 Formação e Idade da Terra

O interesse e a atividade dos naturalistas, até o século XVI, se limitavam, praticamente, a descrever e a classificar os materiais, sem darem atenção e importância à formação da Terra, ao seu relevo e à sua idade. Como era crença generalizada que a Natureza permanecia imutável, desde a Criação, qualquer estudo sobre o assunto era considerado irrelevante, impertinente e fora de propósito, uma vez que seria interpretado como uma intromissão na alçada exclusiva da Religião, que tudo explicava e cujas explicações eram adotadas como artigos de fé[491]. Nem mesmo as intermináveis discussões metafísicas abordavam tais temas. A Criação, o Dilúvio, a imutabilidade e a inextinguibilidade das espécies e outros temas tratados nos textos sagrados não estavam passíveis, assim, de uma pesquisa científica. O risco de contradizer, eventualmente, os ensinamentos teológicos inibiria a formulação, pelos naturalistas, de qualquer hipótese ou especulação sobre assuntos que não lhes competiam. O desdém da Igreja pela Ciência, mantida sua dependente e refém, desencorajaria, dessa forma, os estudiosos de buscar um conhecimento mais amplo e aprofundado da História Natural.

A idade da Terra, ou a data da Criação, não constava dos textos sagrados, nem fora objeto de esclarecimentos da parte dos doutores da Igreja. Como o assunto era do âmbito da Teologia, e como a Igreja de Roma não havia adotado qualquer decisão a respeito, os naturalistas, até o século XVI, não abordaram o tema, permanecendo, na realidade, uma questão em aberto. Notável exceção seria Jean Buridan (século XIV), reitor da Universidade de Paris, célebre por sua "teoria do ímpeto", em

[491] TATON, René. *La Science Moderne.*

Física, e por sua alegoria do "asno". Em sua obra *Questões sobre o Tratado dos Meteoros*, Buridan, ao explicar o relevo da Terra como resultado de uma rotação entre terras e águas, e da erosão, considerou o elemento "tempo", estimado em "milhões de anos", como o período necessário para que se completassem tais acomodações na crosta[492]. Sua obra não teve repercussão, nem seguidores, sendo logo esquecida.

A nova mentalidade instaurada nos séculos XVI e XVII nos meios intelectuais favoreceria uma mudança de atitude e o início de um espírito investigativo e crítico. Imbuídos, porém, de espírito metafísico e profundamente religioso, os naturalistas dessa época seriam guiados por suas crenças e utilizariam suas pesquisas com o propósito de comprovar a obra do Criador.

Em *Princípios de Filosofia* (1644), Descartes expôs sua concepção sobre a formação e a estrutura do planeta, a qual, ainda que especulativa, teve imensa repercussão, não só pelo prestígio e autoridade intelectual do autor, mas também por ter sido a primeira vez, na Era cristã, que uma teoria laica "entrava em concorrência direta com as cosmogonias religiosas que detinham, até então, o privilégio de nos dizer como o Mundo havia sido criado. Somente Lucrécio (*Da Natureza*), dezessete séculos antes, havia ousado propor um esquema racional de formação do Cosmos"[493]. Descartes não tratara, contudo, da História da Terra.

A partir de Descartes, outros filósofos e naturalistas no século XVII – como Athanasius Kircher (*Mundus Subterraneus*), Robert Hooke (*Sobre Terremotos*), Tomas Burnet (*Telluris Theoria Sacra*), Leibniz (*Protogea*) e Newton – adotariam a teoria de um fogo central no Planeta, mas com diferentes modelos de estrutura e de formação do relevo terrestre.

No particular, duas Escolas, com explicações opostas à formação do relevo, se confrontariam no final do século, mas a resposta adequada só seria encontrada ao longo do século XIX. Pelo "netunismo", de Abraham Gottlob Werner (1749-1817), professor de Mineralogia em Freiberg, na Saxônia, todas as rochas teriam sido sedimentadas por ação da água, e as montanhas emergiram do mar, que cobria, inicialmente, toda a superfície do Globo; quando as águas desse imenso oceano se retiraram para a cavidade interior da Terra, surgiram as montanhas, que sofreram ação da erosão. O interior da Terra seria frio, imóvel, não sendo, assim, responsável pelos terremotos. A escala de tempo imaginada por Werner para que se completasse a formação da crosta seria da ordem de milhões de anos. A outra Escola é conhecida pelo nome de "plutonismo", do escocês James Hutton (1726-1799), que argumentava ser o relevo da

---

[492] GOHAU, Gabriel. *Une Histoire de la Géologie.*
[493] GOHAU, Gabriel. *Une Histoire de la Géologie.*

crosta terrestre resultado da "pressão" crescente das camadas profundas, expostas ao "Calor" do fogo central. Em sua *Teoria da Terra*, de 1795, publicada nos anais da Sociedade Real, explicaria que haveria duas forças em ação – de destruição e de edificação –, as quais, atuando através de milhões de anos, moldaram a superfície terrestre. Ao "catastrofismo" de Werner, contrapunha Hutton a teoria das mudanças lentas, contínuas e graduais, ao longo de vasto período de tempo geológico. Trata-se de seu famoso "princípio do uniformitarismo", pelo qual a História passada da Terra pode ser explicada pelo que ocorre na atualidade. O Calor ou fogo subterrâneo teria o efeito de consolidar os sedimentos, de elevar os estratos e formar as montanhas e de injetar o granito, em estado líquido, nas camadas[494]. Assim, enquanto para Werner as rochas cristalinas teriam uma origem aquosa, para Hutton o granito teria origem ígnea.

Ainda no século XVII, na década de 1650, o bispo da Igreja Anglicana de Armagh, na Irlanda, James Ussher, contribuiria para o debate, ao tratar do tema, exclusivo dos teólogos, da idade da Terra. Segundo Ussher, a Criação ocorrera no dia 23 de outubro de 4004 a. C., às 9 horas da noite; o cálculo se baseava em documentos históricos antigos e nas Escrituras (totalizando as idades dos patriarcas do Antigo Testamento)[495]. A data em questão seria impressa nas Bíblias protestantes até o século XIX. Nessa mesma linha de trazer temas e argumentos bíblicos para debate científico, o naturalista Needham afirmaria que o Dilúvio, de 40 dias e 40 noites, se iniciara no dia 28 de novembro, 4ª Feira.

Em 1687, em seu famoso *Principia*, Newton assinalaria que um Globo de ferro, aquecido a ponto de ficar avermelhado, com aproximadamente 40 milhões de pés de diâmetro, como a Terra, poderia dificilmente esfriar num número igual de dias, ou em cerca de 50 mil anos[496]. Não tentou calcular o tempo necessário para a Terra esfriar o suficiente para ser habitável, mas assinalou que suspeitava, devido a algumas causas latentes, que a duração do Calor seria a uma taxa inferior a de seu diâmetro, concluindo que "ficaria satisfeito se uma verdadeira relação fosse investigada pelos experimentadores". O astrônomo Edmond Halley, em 1715, apresentou à Sociedade Real um estudo no qual sugeria que a salinidade dos oceanos poderia servir de base para fixar a idade da Terra, posto que a evaporação de cada oceano aumentava com o tempo. Halley não se aventurou a especificar uma data, porém admitia 4004 a. C. para o começo da raça humana, sendo a Terra muito mais antiga[497].

---

[494] GOHAU, Gabriel. *Une Histoire de la Géologie.*
[495] RONAN, Colin. *História Ilustrada da Ciência.*
[496] GRIBBIN, John. *Science: A History.*
[497] RONAN, Colin. *História Ilustrada da Ciência.*

No século XVIII, se acumulariam evidências de que transformações importantes, inclusive a extinção de espécies da flora e da fauna, teriam ocorrido num espaço de tempo bastante superior ao normalmente admitido. O melhor conhecimento da civilização chinesa, devido à presença de missões jesuítas de catequese naquele país, indicava ter a História do Império do Meio pouco menos da idade atribuída à Terra[498]. Esqueletos de rinocerontes na Sibéria (1772, 1803) e de elefantes e rinocerontes na França e Inglaterra indicavam provável alteração do clima da Terra no decurso de longo período de tempo, ainda que alguns julgassem serem tais ossaturas vestígios do Dilúvio. A descoberta de ossos enormes de grandes animais desaparecidos (mamutes, mastodontes, megatério, pterodóctilo) em várias partes do Mundo reforçava a teoria da extinção de espécies, se bem que vários naturalistas defendiam a tese de se tratar de restos de antigos "gigantes", que habitaram, outrora, a Terra, mas que foram extintos com o Dilúvio, segundo o *Gênese*[499]. O Dr. Cotton, de Boston, apresentou, em 1714, uma *Memória* à Sociedade Real, na qual os ossos de um mamute descobertos em Albany (EUA) eram apresentados como ossos daquela raça maldita de gigantes, como Raymond Furon comentou no citado livro organizado por René Taton. O interesse despertado por tais descobertas incentivaria o avanço nos estudos de Paleontologia (Jean Étienne Guettard, Louis Jean Marie Daubenton, Peter Simon Pallas, Johann Friedrich Blumenbach). O inglês John Frere, que encontrara esqueleto de elefante na Inglaterra, sugeriria, em 1797, ter sido o Homem contemporâneo dos animais extintos.

A descoberta de instrumentos pré-históricos (pedras polidas e lascadas, machados, etc.) na Europa intrigava os pesquisadores, que julgavam, na maioria dos casos, tratar-se de materiais de povos primitivos. Estudos comparativos com instrumentos de povos indígenas da Ásia e África, efetuados pelo jesuíta Joseph Lafitau (1724) e por Nicolas Mahudel (1734), indicavam certa semelhança entre os instrumentos encontrados e os utilizados até hoje por algumas tribos locais.

6.15.1.2 Mineralogia

O verbete na Enciclopédia Francesa, preparado pelo cético e anticlerical francês Paul Heinrich Dietrich, barão de Holbach (1723-1789), descreveu a Mineralogia como a

[498] GRIBBIN, John. *Science: A History.*
[499] TATON, René. *La Science Moderne.*

> parte da História Natural que se ocupa do conhecimento das substâncias do reino mineral, isto é, das pedras, dos sais, das substâncias inflamáveis, das petrificações, numa palavra, dos corpos inanimados. As especulações de gabinete, os conhecimentos adquiridos nos livros não podem formar um mineralogista; é no grande livro da Natureza que ele deve ler; é descendo nas profundezas da Terra, subindo nos picos escarpados das montanhas; é percorrendo diversas regiões, que conseguirá arrancar da Natureza os segredos que ela esconde à nossa pesquisa.

A grande atividade de campo, no século XVIII, resultara na descoberta de novos minerais, cujo exame permitiu um melhor entendimento de sua composição. A vasta área do reino mineral despertava curiosidade, inclusive de cientistas envolvidos, principalmente, em outros setores de estudos, como o botânico sueco Karl Linneu, o filólogo, físico e químico russo Mikhail Lomonosov e o químico sueco Torben Bergman. Acreditando que todos os cristais de mesma forma geométrica tinham a mesma composição química, Linneu prepararia (1735) uma classificação dos minerais numa base equivocada, o que viria a impedir sua adoção. O russo Lomonosov, em seu catálogo dos minerais, assinalou a constância dos ângulos diedros de certos cristais, mas seu trabalho foi ignorado pelos naturalistas da Europa ocidental. Bergman se limitaria a constatações geométricas da passagem de uma forma para outra, sem explicar sua origem[500]. Avanço significativo nessa área ocorreria com os trabalhos de Romé de L'Isle (1736-1790) expostos no *Essai de Cristallographie*, de 1772, e com a descoberta, em 1763, da lei da constância da abertura dos ângulos diedros dos cristais da mesma espécie. O naturalista Georges Buffon, que dedicara cinco volumes (de n° 32 a 36), publicados entre 1783/88, de sua *História Natural* ao reino mineral, tratou, contudo, superficialmente, da forma cristalina, que seria um acidente, dando relevo aos aspectos de ductibilidade, densidade, homogeneidade, fusibilidade e combustibilidade.

O fundador da Mineralogia seria o abade René Just Haüy (1743-1822) que, em 1781, apresentou à Academia de Ciências duas *Memórias*, uma sobre a estrutura de cristais de "granada" e outra sobre a estrutura de "espatos" calcários. Sua obra, de 1784, intitulada *Essai d'une théorie sur la structure des cristaux appliquée à plusieurs genres de substances cristallisées*, marca o início da Cristalografia. Haüy publicaria, em 1801, o *Tratado de Mineralogia*, em cinco volumes, e, em 1822, o *Tratado de Cristalografia* (três volumes, sendo um de ilustrações). Deve-se a Haüy

[500] TATON, René. *La Science Moderne.*

o conhecimento da estrutura dos cristais, que seriam uma montagem de pequenos poliedros todos iguais entre si e unidos pelas facetas, possibilitando, assim, as clivagens[501]. Descoberta a estrutura, Haüy definiria a espécie mineral como uma "coleção de corpos cujas moléculas integrantes são semelhantes por suas formas e compostos pelos mesmos princípios, unidos entre eles na mesma relação". As espécies foram divididas em cinco classes: pedrosas e salinas, combustíveis não metálicas, metálicas, de origem ígnea e de origem vulcânica.

6.15.1.3 Pesquisas Geológicas

Estudos e pesquisas de campo no vasto âmbito da Geologia se intensificaram no século XVIII. Além das contribuições mencionadas acima, vinculadas diretamente às questões da origem, formação e idade da Terra, estudos e descobertas em estratificação, formação e estrutura de montanhas e fósseis permitiriam um melhor conhecimento dessas áreas, apesar do caráter especulativo, e de pouco valor científico de algumas obras.

O diplomata francês Benoit de Maillet (1658-1738), cuja obra *Telliamed*, seria publicada em 1748, insinuaria que os dias mencionados no *Gênese* deveriam ser entendidos como "épocas" ou "eras", e especulou um "transformismo" pelo qual os atuais animais e plantas descendiam daqueles que viveram nas águas do mar universal, cuja regressão permitiu a emersão das montanhas.

O italiano Anton Lazzaro Moro (1682-1740), autor de *De crostacei et degli altri marini corpi che si truovano su monti* (1740) atribuiu à ação dos vulcões e dos terremotos toda a sedimentação e alterações ocorridas na crosta. Enquanto as águas do mar se tornavam mais salgadas por causa das emanações vulcânicas, as cinzas se depositaram no fundo do mar, sendo depois erguidas pela ação dos terremotos[502].

O suíço Johann Jakob Scheuchzer (1672-1733), interessado em Paleontologia, escreveu, em 1708, *Piscium querelae et vindiciae*, sobre peixes fósseis e *Herbarium diluvianum*, sobre plantas fósseis (1709); dada a presença de coníferas em extratos de carvão, acreditou o autor ter o Dilúvio ocorrido em maio. Em 1716, publicou um catálogo com 1500 fósseis, dos quais 528 da Suíça.

Giovanni Arduino (1714-1795), estudioso da geologia da Itália, completou as pesquisas de Steno sobre a região da Toscana.

[501] BARBOSA, Luiz Hildebrando Horta. *História da Ciência.*
[502] ROSSI, Paolo. *A Ciência e a Filosofia dos Modernos.*

Jean Etienne Guettard (1715-1786) é autor da importante *Memória e cartas mineralógicas sobre a natureza e a situação dos terrenos que atravessam a Inglaterra e a França* (1746) e de um Atlas e descrição mineralógica da França (1780).

O suíço Horace de Saussure (1740-1799), após dez anos de pesquisas nos Alpes, escreveu *Viagens nos Alpes* (1786/96), em quatro volumes, no qual mostrou ter aquela montanha surgido de um "movimento tangencial".

O alemão Johann Gottlob Lehman (1719-1767) adotaria a distinção de Steno de rochas primitivas, sem fósseis, e secundárias, sedimentares com fósseis. Executou extenso trabalho de campo e contribuiu para o desenvolvimento da Estratigrafia. Em 1756, publicou seu *Ensaio de História Natural das camadas da Terra*.

Georg Christian Füchsal (1722-1773), um dos pioneiros da Estratigrafia, escreveu a *História da Terra e do Mar* (1762), e é autor do primeiro mapa geológico da Alemanha.

Nicolas Desmarest (1725-1815) apresentou, em 1779, um estudo sobre vulcanismo, e foi o primeiro a considerar o basalto como de origem vulcânica, como uma antiga lava, ao invés dos "netunistas", que pensavam ser o basalto uma rocha sedimentar.

Peter Simon Pallas (1741-1811), fundador da geologia russa, viajou extensamente pelas regiões do Volga, dos Urais, do mar Cáspio e da Sibéria. Em 1777, apresentou uma *Memória* à Academia de Ciências de São Petersburgo, sobre a constituição das montanhas Urais, Cáucaso e Altai. Na Sibéria descobriu esqueletos de mamutes[503].

Abraham Gottlieb Werner (1750-1817), grande defensor da teoria "netunista" da formação da crista terrestre, também conhecida como "catastrofista", oposta à teoria de Hutton. Quanto às montanhas, distinguia cinco classes: primitivas, de transição, em camadas, vulcânicas e de aluvião[504].

Dieudonné (Deodat) Dolomieu (1750-1801) publicou, em 1784, estudos sobre terremotos, e, depois, *Memórias* sobre basalto e pedras calcárias. Pesquisou os Alpes orientais, cujo calcário, em sua homenagem, são chamados de "dolomitas". Escreveu, ainda, uma *Introdução à filosofia mineralógica*.

O alemão Johann Friedrich Blumenbach (1752-1840) que estabeleceria quatro grandes classes de fósseis, sendo a primeira de plantas e animais ainda vivos, a segunda de vítimas do Dilúvio, a terceira

[503] BUFFETAUT, Eri. *Histoire de la Paléontologie.*
[504] TATON, René. *La Science Moderne.*

classe corresponde aos fósseis de animais e plantas da época da mudança climática da Terra, e a quarta, de fósseis da época em que o Globo estava coberto por um oceano universal.

O abade Jean Louis Giraud Soulavie (1752-1813) publicou, de 1780 a 1784, a *História da França Meridional*, defendeu a sucessão cronológica das camadas sedimentares superpostas e de sua identificação por seus fósseis característicos, e explicou o papel da erosão fluvial nos vales[505].

William Smith (1769-1839) aplicaria a Estratigrafia à Cartografia, propondo, em 1799, uma escala estratigráfica de formações secundárias da Inglaterra. Na *Tabular view of the order of the strata* sustentaria que duas camadas de diferentes locais deveriam ser consideradas da mesma "idade", se contivessem fósseis similares[506].

O italiano Serafino Volta, no final do século, em *Ictiologia veronesa* descreveria 123 espécies de peixes fósseis, das quais 12 seriam extintas.

Georges Cuvier (1769-1832) seria um naturalista de grande projeção no século XIX, com importante contribuição para o desenvolvimento da Anatomia comparada e da Paleontologia.

6.15.2 Botânica

Prosseguiriam, com grande intensidade, no século XVIII, os estudos sobre a Botânica, alargando, consideravelmente, o conhecimento do reino vegetal, em particular, e da História Natural, em geral. O interesse por essa área de pesquisa determinaria um real avanço sobre o conhecimento da flora mundial, em boa parte obtido através do envio de naturalistas europeus aos diversos continentes com o objetivo de colher informações sobre o extenso domínio da Botânica, inclusive de espécies até então desconhecidas do Velho Continente. O resultante entendimento da complexidade do Mundo vegetal muito contribuiria para o progresso das pesquisas e para melhor compreensão da Anatomia e da Fisiologia das plantas. Nesse sentido, se forjaria, no século XVIII, a estrutura do conhecimento botânico[507], constituindo-se num legado altamente positivo, que permitiria seu grande avanço no século XIX.

A exemplo do que ocorreu em outras áreas do conhecimento, como a Astronomia, a Física e a Geologia, o maior número de botânicos, e os mais influentes, era de intelectuais profundamente religiosos, ou, mesmo, de

[505] GOHAU, Gabriel. *Une Histoire de la Géologie.*
[506] TATON, René. *La Science Moderne.*
[507] TATON, René. *La Science Moderne.*

prelados (Hales, Linneu, a família Jussieu, Priestley, Kolreuter, Siegesbeck, Sprengel, Bonnet, Senebier) que se envolveram nas pesquisas confiantes de que elas confirmariam sua fé e sua filosofia. Exceções marcantes seriam Buffon, Adanson, Lamarck. Dessa forma, princípios de imutabilidade, preformismo e vitalismo predominariam no século XVIII, ainda que contestados pelas evidências, as quais, analisadas e interpretadas à luz do espírito inquisitivo e crítico no século XIX, seriam a base da estruturação do conhecimento botânico em bases científicas.

No exame da evolução da Botânica, devem ser ressaltadas, como características principais do período, as iniciativas em Taxonomia, as pesquisas em Anatomia e Fisiologia e a ampliação do conhecimento da flora mundial.

6.15.2.1 Classificação e Nomenclatura

A questão não era nova, pois desde a Antiguidade (Aristóteles, Teofrasto, Plínio), vários naturalistas já se tinham ocupado da classificação e nomenclatura Botânica. Várias tentativas foram apresentadas por naturalistas dos séculos XVI e XVII, sem que quaisquer delas tivessem recebido um apoio significativo da comunidade intelectual, o que, longe de resolver o problema, acrescentaria mais confusão numa área já caótica. A falta de uma classificação e de uma nomenclatura das plantas, aceitas universalmente, emperrava o avanço das pesquisas, e, por conseguinte, do conhecimento científico da flora, o que, aliás, ocorria, também, em Zoologia e Química.

Assim, baseando-se em critérios distintos, vários naturalistas de séculos anteriores apresentaram sua classificação Botânica: Mathias de l' Obel (1538-1616), de acordo com a forma das folhas; Andrea Cesalpino (1549-1603), segundo as raízes, flores e frutos; Gaspard Bauhin (1560-1624) distinguiu o "gênero" e a "espécie"; Joachin Jung (1587-1657) introduziu modificações na classificação de Bauhin; John Ray (1627-1705) classificou pelas folhas, frutos e flores; Paul Hermann (1640-1695) se baseou nos frutos; Augustus Rivinus (1652-1725) considerou as pétalas e os frutos; e Joseph Tournefort (1656-1708) procurou estabelecer uma "classificação natural", com base em "gênero" e "espécie"[508].

Sobre os diversos métodos de classificação, e suas implicações, é interessante registrar o comentário de Stephen Mason, em sua obra já citada:

[508] TATON, René. *La Science Moderne.*

> Ao longo dos séculos XVI e XVII, o método de classificação artificial, que sublinhava a descontinuidade e gradação hierárquica das espécies orgânicas, era mais popular nos países católicos, como é o caso, por exemplo, de Cesalpino e Malpighi na Itália, enquanto o método natural, ao enfatizar a continuidade e a afinidade das espécies, era mais popular nas terras protestantes, como ocorre especialmente com Lobellieus (1538-1616) na Holanda, Bauhin na Suíça e John Ray (1627-1705) na Inglaterra. No século XVIII, se inverteram essas preferências, ao adotar o luterano sueco Linneu o método artificial, enquanto os naturalistas franceses, principalmente Buffon, adotaram o natural. Tal mudança pode ligar-se ao fato de que o pensamento luterano assimilou gradualmente elementos da velha Teologia com seu conceito de hierarquia, enquanto os filósofos franceses do século XVIII adotaram a Filosofia mecânica que reduzia todos os fenômenos à mesma uniformidade mecânica.

Em meados do século XVIII, o naturalista sueco Karl Linneu ou Carl von Linné (1707-1778) apresentaria sua classificação e nomenclatura das plantas, que, por seu impacto, deve ser considerada como a mais importante, até aquela data. Ainda que criticada por vários botânicos, o sucesso da obra de Linneu contribuiria, inclusive, como referência para o futuro desenvolvimento do estudo do assunto. Sua classificação seria alterada e revista nos decênios seguintes, perdurando, contudo, seus critérios de nomenclatura. Imbuído de profunda religiosidade, sua pesquisa e conclusões seriam, necessariamente, influenciadas por suas convicções, como da imutabilidade da espécie. Com uma verdadeira obsessão pela ideia de tudo classificar, preparou também classificações para animais, minerais e enfermidades, chegando, mesmo, a classificar os cientistas contemporâneos e do passado segundo uma hierarquia militar. Na última edição de seu *Sistema da Natureza*, resumiu as gradações da hierarquia da Natureza com o pensamento de que "os minerais crescem, as plantas crescem e vivem e os animais, crescem, vivem e sentem" [509].

Suas obras mais importantes, na qual expôs, explicou e ilustrou sua teoria, são: *Systema Naturae* (1735), *Fundamenta Botanica* (1736), *Classes Plantarum* (1738) e *Philosophia Botanica* (1751). Além dessas, devem ser citadas a *Biblioteca Botanica* (1736), *Critica Botanica* (1737), *Genera Plantarum* (1737), *Hortus Cliffordianus* (1738), *Species Plantarum* (1753) e *Amoenitates Academiae* (1749/69).

Os órgãos sexuais das plantas (estames, masculino, e pistilo, feminino), estudados, principalmente, por Marcello Malpighi (*Anatomia das Plantas* - 1675/79), Nehemiah Grew (*Anatomia das Plantas* - 1682) e

---

[509] MASON, Stephen. *Historia de las Ciencias.*

Rudolph Camerarius (*Epístola sobre o Sexo das Plantas* - 1694) seriam a base da classificação Botânica de Linneu, a qual, em função do número, da forma e da posição relativa dos estames na flor, agrupou as plantas em gênero, espécie, classe e ordem[510]. Um total de 24 classes, divididas em ordens, foi estabelecido; para nomear as plantas, recorreu à nomenclatura binominal, em latim, com um substantivo para designar o "gênero" e um adjetivo a "espécie".

Dadas suas imperfeições e artificialidade, resultantes da escolha arbitrária de algumas características, como a dos órgãos sexuais das plantas, a classificação de Linneu, não obstante seus méritos, seria, oportunamente, abandonada, ou pelo menos bastante alterada, porém sua nomenclatura se impôs, sendo universalmente adotada, até hoje.

A família Jussieu (Antoine, Bernard, Antoine-Laurent, Joseph e Adrien) e Michel Adanson seriam os grandes defensores de uma "classificação natural" que, examinando todas as semelhanças e diferenças entre as diversas espécies, eliminasse os inconvenientes de uma classificação artificial[511].

Apesar de seu apoio ao trabalho de Linneu, o que explica o sucesso dessa classificação na França e em toda a Europa, Bernard Jussieu (1699-1777) procurou introduzir algumas modificações na classificação do naturalista sueco, de forma a torná-la mais aceitável aos defensores do método natural, do qual seria pioneiro, com três monografias. Seu sobrinho, Antoine-Laurent (1748-1836) publicaria, em 1779, seu *Exame da família das Renúnculas*, no qual mostraria que, a despeito de diferenças de forma, de estrutura e de simetria entre as flores de espécies desta família, havia traços comuns, correspondentes a laços de parentesco, permitindo classificar tais plantas na mesma "família natural". Em 1789, no *Genera Plantarum* exporia Jussieu sua teoria de classificação natural, distinguindo três grandes divisões: "acotiledôneos", "monocotiledôneos" e "dicotiledôneos", as duas últimas subdivididas, respectivamente, em três e 11 classes, de acordo com a posição do estame em relação ao ovário (no caso dos monocotiledôneos) ou das características da corola (no caso dos dicotiledôneos)[512]. Antoine-Laurent Jussieu reconheceu uma centena de famílias, até hoje aceitas como tais.

Michel Adanson (1727-1806), considerado por alguns como o maior botânico francês do período, discípulo de Tournefort e Buffon, seria um grande crítico da obra de Linneu e um propugnador de um sistema

---

510 ROUSSEAU, Pierre. *Histoire de la Science.*
511 BARBOSA, Luiz Hildebrando Horta. *História da Ciência.*
512 TATON, René. *La Science Moderne.*

natural e objetivo de classificação. Recusando o método artificial e abstrato, defenderia uma classificação que tomasse em conta todas as características e as considerasse de início como igualmente significativas. Sua concepção, que viria a ser retomada, no século XIX, por Augustin Candolle (1805) e Robert Brown (1810), se encontra exposta no livro *Família das Plantas*, de 1763, escrito após ter passado cerca de seis anos no Senegal estudando a flora local.

Jean Baptiste Lamarck (1744-1829), botânico do *Jardin du Roi* (1778/93), publicou sua famosa *Flore Française*, de 1778, na qual expôs critérios para facilitar a identificação prática da flora de seu país.

O quadro geral das pesquisas Botânicas, com vistas ao conhecimento exato das plantas, que permitiria uma objetiva e natural classificação do reino vegetal, não estaria completo sem a menção de trabalhos elaborados em vários países europeus sobre aspectos diversos, que enriqueceram a literatura Botânica do século XVIII.

Na Alemanha, a *Carpologia* seria criada por Johann Gärtner, autor de *De fructibus et seminibus plantarum* (1789/94), com o estudo sobre mais de mil frutos; Johann Gleditsch (1714-1786) escreveria um *Systema plantarum a staminum situ* (1764); Casimir Schmiedel (1716-1792) publicaria o *Ícones plantarum*, e Georg Ehret (1710-1770), *Plantae selectae*; na Inglaterra, Richard Bradley (?- 1732) estudou as plantas gordurosas, e John Ellis (1711-1776), os vegetais exópticos; na Áustria, Heinrich Crantz (1722-1799), Johann Schreber (1739-1810) e S. Miller pesquisaram várias famílias de plantas e um grande número de flores; na Holanda, Adriaen van Royen (1704-1779) e Eberhard von Wachendorff (1702-1758) se dedicaram a estudar métodos de classificação Botânica; na Itália, Pier Antonio Micheli (1679-1737) pesquisou as gramíneas, e Giovanni Scoppoli (1723-1788), na *Flora carniolica* (1772), estudou as modificações ocorridas nos vegetais vivos em cavernas; na França, Antoine Nicolas Duchesne (1747-1827) escreveria a *Histoire Naturelle des Fraisiers* (1766); René Desfontaines (1750-1833) publicaria a *Organização dos Monocotiledôneos* (1798); e François Boissier de Sauvage (1706-1767) elaboraria, em 1751, uma classificação das plantas de acordo com a forma e a disposição das suas folhas[513].

6.15.2.2 Fisiologia

Os botânicos prosseguiriam as pesquisas do século anterior no campo da Fisiologia vegetal, ampliando e inovando em alguns casos.

[513] TATON, René. *La Science Moderne.*

As áreas mais relevantes de pesquisa, para o futuro desenvolvimento da Botânica, seriam as da fecundação, da circulação da seiva, fotossíntese e movimento das plantas.

Quanto à fecundação, apesar das evidências e demonstrações da sexualidade vegetal e da existência de órgãos reprodutores, sendo a fecundação necessária para o desenvolvimento da semente (Malpighi, Grew, Camerarius), a maioria dos botânicos da primeira metade do século XVIII era contrária a essa teoria, por motivos religiosos e morais, como Johann Kramer, que a considerava "impudica e ímpia". Linneu, defensor da sexualidade das plantas, tanto que a utilizou como base de seu sistema de classificação, sustentou, também, a ideia da gênese das espécies por hibridação, que já fora defendida, anteriormente, por Thomas Fairchild, Richard Bradley (1718), Philip Miller (1731), James Logan (1739) e Johann Gleditsch (1749).

Os trabalhos (1761/66) de Joseph Kolreuter (1733-1806), reputado como o fundador da ciência da hibridação, foram extensos e de excelente qualidade: 500 hibridações diferentes, em 138 espécies, e estudo de pólen em cerca de mil espécies. Com base nessas pesquisas, Kolreuter se pronunciaria contra o preformismo, teoria em voga na época. Como escreveram de Vinville e Leroy, profundamente piedoso, Kolreuter acreditava, no entanto, ter demonstrado, como Linneu, que nenhuma espécie poderia resultar da hibridação[514], mas reconheceu a importância dos insetos e do vento como agentes na transferência do pólen na fertilização da planta. Outro botânico alemão faria pesquisas importantes e pioneiras nessa mesma área. Christian Konrad Sprengel (1750-1816), com seu famoso *O Mistério da Natureza desvelado* (1793), daria início à Biologia floral. Em suas pesquisas sobre diversos aspectos da flor, Sprengel demonstraria que a maioria das flores hermafroditas não podia ser fecundada por seus próprios polens, pois seus órgãos reprodutores não "amadureciam" ao mesmo tempo. Descobriu que algumas flores dependiam do vento para transferir seus polens, e ressaltou, também, a importância dos insetos, atraídos pela cor, pelo néctar e pelo pólen, na fecundação da maioria das flores, transportando o pólen do estame masculino de uma flor para o pistilo feminino de outra flor. Sua teoria geral de fertilização é, hoje em dia, aceita, apesar do pouco êxito de seu livro na ocasião; em 1841, o trabalho de Sprengel seria resgatado por Darwin, que basearia suas pesquisas sobre as flores na obra do botânico alemão.

Outros estudos foram realizados sobre fecundação das plantas nesse período. O padre John Needham, adepto da geração espontânea

---

[514] TATON, René. *La Science Moderne.*

e do vitalismo, em seu *Novas descobertas microscópicas* (1745) comentou numerosas observações sobre grãos de pólen; o médico italiano Antonio Vallisnieri (1661-1730) pesquisou sobre a fecundação na superfície da água de planta aquática; e Johann Wallerius (1709-1785) estudou a fecundação artificial (1752).

No que se refere à circulação da seiva, um dos pioneiros teria sido o jesuíta Nicolas Sarrabat (1698-1737), que, para seguir o movimento da seiva nos vasos, teria utilizado um corante vermelho. Devem-se ao pastor Stephen Hales (1677-1761) as primeiras pesquisas sobre a circulação da seiva, com o propósito de explicá-la por causa física. Para tanto, recorreu à experimentação quantitativa na Botânica, no que seria um dos pioneiros. Em seu famoso *Estática Vegetal*, de 1727, descreveu Hales mais de 140 experiências, mostrando a ação do Calor solar no movimento ascendente da seiva. Nessas pesquisas, mediu, comparativamente, as quantidades de água absorvida pelas raízes e exalada pelas folhas, e comparou a ascensão da seiva à subida da água nos tubos capilares. Ao descobrir, assim, que a transpiração vegetal ocorre pelas folhas, determinaria a pressão da seiva e mediria a taxa de crescimento das folhas[515]. Os estudos sobre o tema só seriam retomados no século XIX.

Sobre a fotossíntese, as primeiras pesquisas só poderiam ocorrer ao final do período, após as experiências de Lavoisier sobre as funções químicas e a composição do ar. O químico francês havia descoberto a troca de gases entre o vegetal e a atmosfera: os vegetais recolhem no ar, na água e nos minerais as matérias necessárias à sua organização, enquanto a fermentação, a putrefação e a combustão retornam à atmosfera os elementos que lhe havia retirado[516]. O químico inglês Joseph Priestley, por sua vez, havia descoberto, em 1771, propriedades das plantas verdes quanto à retenção e expulsão de gases.

O mérito pela descoberta da assimilação da clorofila foi do holandês Jan Ingenhousz (1730-1779), que, em *Experiência com Vegetais*, de 1779, demonstrou que as plantas verdes soltam o oxigênio durante o dia, à luz; e o gás carbônico, à noite, no escuro; esses dois fenômenos dependiam unicamente de iluminação. Ingenhousz demonstrou, ainda, que as plantas retiravam a totalidade de seu carbono do gás carbônico da atmosfera. Os trabalhos do botânico holandês foram examinados pelo pastor suíço Jean Senebier (1742-1809), que, nas *Memórias físico-químicas sobre a influência da luz solar* (1782), em diversos trabalhos (1783/84) e na *Fisiologia Vegetal*, de 1800, demonstrou que a luz era o agente responsável

515 RONAN, Colin. *História Ilustrada da Ciência.*
516 TATON, René. *La Science Moderne.*

pela fixação do dióxido de carbono, sendo o oxigênio liberado somente na presença do dióxido de carbono.

No que se refere ao movimento das plantas, os botânicos estudaram, particularmente, os movimentos das folhas e das flores. Linneu, em Uppsala, criou um "relógio de flores", que se abriam e se fechavam em diferentes horas do dia; escreveu sobre o assunto dois estudos, intitulados *Somnus plantarum* e *Calendrium florae*. O suíço Senebier esclareceria que uma iluminação artificial poderia interferir sobre os períodos de sono e de vigília das folhas das leguminosas. Duhamel de Monceau estudou o movimento das folhas da "Sensitiva"; Johann Friedrich Gmelin (1748-1804) o das "Hedysarum"; Michel Adanson o das algas[517]. O abade Pierre Bertholon foi pioneiro do estudo da ação da eletricidade sobre as plantas (1783).

6.15.2.3 Flora Mundial

Expandiu-se consideravelmente o conhecimento da flora dos diversos continentes ao longo do século XVIII. Inúmeras missões e várias expedições, integradas, muitas vezes, por naturalistas foram despachadas aos diferentes recantos do Globo para coletar espécimes que, remetidos a botânicos, herbários, jardins botânicos, colecionadores particulares e centros de estudos na Europa, permitiriam seu exame. A expansão da pesquisa da flora mundial contribuiria para uma melhor compreensão da complexidade e da dificuldade da elaboração de uma classificação artificial das plantas. A enorme quantidade de novas informações sobre a diversificada flora mundial seria um fator decisivo para o extraordinário desenvolvimento da Botânica.

Assim, no que se refere à flora europeia, cabe mencionar, entre outros, estudos, na França, de Jean Guettard sobre a flora da região parisiense; os de Pierre Bulliard, sobre a da região de Paris, de um Herbário da França e de uma História das plantas venenosas; o de François Bonami, sobre a região de Nantes; os de François Marquet e de Joseph Buchoz, sobre a Lorena; o de Antoine Delarbre, sobre o Auvergne; o de Pierre Pourret, sobre os Pireneus; e o de Antoine Gouan, sobre Montpellier; na Inglaterra, foram publicados catálogos sobre a flora local por John Hill, John Edwards, James E. Smith, William Hudson; a flora belga foi estudada por David Gorter e Noel Necker; na Alemanha, foram editadas monografias sobre plantas das regiões da Prússia, Baviera, Würtenberg,

[517] TATON, René. *La Science Moderne.*

Bade, Leipzig, Francfurt, Stuttgart, e alguns estudos do conjunto da flora por Georg Hoffmann, Moritz Borkhausen e Julius Rohr; a flora austríaca foi estudada por Nicolau Jacquin; a da Dinamarca e da Boemia por Georg Oeder; a da Suécia, por Olof Swartz; a da Lapônia, por Linneu; a da Noruega, por Johann Gunner e Martin Vahl; a da Islândia, Groenlândia e Polônia, por Jean Gilibert; a da Rússia, por Johann Buxbaum, Samuel Gmelin e Pierre Deschizeaux; a da Suíça, por Albrecht von Haller, Horace B. Saussure e Johann Scheuchzer; a da Itália, por Giovanni Scopoli e Pier Antonio Micheli; a da Espanha, por Antonio Cavanilles e Casimiro Gómez Ortega; e a de Portugal, por Brotero de Avelar[518].

Quanto à flora do continente americano, devem ser citadas as explorações botânicas de André Michaux e seu filho, François-André, a regiões da costa leste do Canadá e dos EUA; do inglês Mark Catesby, de John Clayton, de William Houston e de Thomas Walter, na América do Norte. O padre Louis Feuillée explorou a região das Antilhas e das costas venezuelana, peruana e chilena; Hans Sloane e Nicolau Jacquin, o Caribe; Joseph Jussieu permaneceu no Peru por 35 anos, pesquisando a flora local; o inglês James Petiver criou uma extraordinária coleção de plantas da América do Sul e publicou um trabalho sobre a flora peruana; o dinamarquês Christen Friis Rottboll estudou a flora do Suriname; Claude Richard coletou mais de 3 mil plantas da região das Antilhas, da Guiana e do Brasil. Quanto à África, Michel Adanson permaneceu no Senegal por cinco anos e escreveu a célebre *História Natural do Senegal*; Pierre Poivre explorou Madagascar e as Filipinas; Augusto Lippi e Charles Sonninni de Manoncourt descreveram as plantas do Egito; Johann Hebenstreit, Nikolaus Burman e René Desfontaines estudaram a flora do norte da África; a região do Cabo da Boa Esperança foi estudada pelos suecos Peter Bergius, Carl Thunberg e Anders Sparrman. Quanto ao continente asiático, o jesuíta português J. de Loureiro estudou a flora do Camboja e de Malabar; o jesuíta francês Pierre Nicolas Cheron, a da China; Jacob Radermacher, a de Java; a do Japão por Carl Thunberg e o padre François-Xavier Charlevoix[519].

A essa relação exemplificativa de atividades de botânicos em diversas partes do Globo, se pode acrescentar, também, importantes expedições que contribuíram para um melhor conhecimento da flora e fauna mundiais. A expedição marítima (1763-1775) do capitão inglês James Cook explorou as ilhas Canárias, Cabo Verde, Brasil, Terra do Fogo, Nova Holanda, ilhas do Pacífico e Nova Guiné; a de Louis Antoine

[518] TATON, René. *La Science Moderne.*
[519] TATON, René. *La Science Moderne.*

de Bougainville, de 1767 a 1771, deu a volta ao Mundo (Brasil, Terra do Fogo, Taiti, Austrália); a chefiada pelo zoólogo alemão Peter Simon Pallas explorou a Sibéria, de 1768 a 1774; a expedição de circunavegação de Jean François de la Perouse, de 1785 a 1789; a viagem de Alexander von Humboldt à América do Sul, de 1799 a 180; e a expedição de Nicolas Baudin, de 1800 a 1804, aos mares do Sul.

Vários tratados gerais de Botânica foram publicados no século XVIII, divulgando seu conhecimento à classe intelectual de diversos países europeus. Na França, Jean Jacques Rousseau escreveu *Ensaios elementares sobre a Botânica* (1771) e *Cartas sobre a Botânica* (1793/95); Marc Antoine Claret de la Tourrette (1729-1793) publicou suas *Demonstrações elementares de Botânica*, com excelente ilustração; Noel Necker (1729-1793), a *Elementa Botânica*; Pierre Bulliard (1752-1793), o *Dicionário elementar de Botânica*; Jean Claude La Métherie (1743-1817), sua *Vues physiologiques sur l'organisation végétale et animale*; Jean François Séguier (1703-1784), a *Bibliotheca Botânica*; e o beneditino Nicolas Jolyclerc (?- 1817), o *Dicionário* e o *Curso de Botânica*. Na Alemanha, Anna Maria Sybilla Merian (1647-1717) escreveu o *Novo Livro de Flora*, com excelentes pinturas de plantas e insetos. Na Inglaterra, Bryant, Pulteney e Hill publicaram *The Vegetable System*, em 13 volumes, com mais de mil ilustrações. Na Suíça, a *Revista de Notícias* divulgaria informações sobre Botânica.

Jardins Botânicos de diversos países, como o Kew Gardens, de Londres; os de Altdorff, Frankfurt e Göttingen, na Alemanha; o de Viena, na Áustria; o de Uppsala, na Suécia; os de Pisa, Florença, Pádua, Bolonha e outros, na Itália; e o Jardim das Plantas, de Paris, publicariam catálogos, muitos deles ilustrados, sobre seus acervos e trabalhos.

6.15.3 Zoologia

O desenvolvimento da Zoologia no século XVIII foi mais lento que o da Botânica, devido à complexidade dos estudos sobre os animais e às dificuldades para a coleta de material. A introdução do microscópio nos laboratórios de História Natural permitiu a descoberta, no século XVII, do Mundo de microrganismos, aumentando, consideravelmente, a área do reino animal, até então restrita aos grandes animais e aos pequenos insetos, visíveis a olho nu. Ao mesmo tempo, o tratamento de questões controversas, como a imutabilidade das espécies, a geração espontânea e o vitalismo, era bem mais delicado e polêmico a respeito do reino animal que do vegetal. Tornou-se inevitável a necessidade de repensar e

reexaminar conceitos e conhecimentos já aceitos. O grande desafio para os zoólogos do século XVIII seria, assim, estabelecer bases novas, objetivas e científicas, para o desenvolvimento das pesquisas, de acordo com o extraordinário acervo acumulado de novos dados e informações. Para tanto, o empenho dos naturalistas, de melhor conhecer a fauna mundial, seria um fator positivo para o avanço desses estudos. Expedições, museus, coleções particulares e obras ilustradas contribuiriam para a divulgação da Zoologia, ao menos junto aos meios intelectuais.

A evolução do conhecimento zoológico no século XVII fora notável, graças às pesquisas de naturalistas do porte de Robert Hooke, Nehemiah Grew, Francesco Redi, Marcello Malpighi, John Ray, Antony van Leeuwenhoek e Jan van Swammerdam, entre outros. A temática para o século XVIII não seria diferente daquela do período anterior, apenas as prioridades seriam um pouco alteradas. Nesse sentido, como na Botânica, a questão da classificação e nomenclatura adquiriria maior relevo e importância[520].

6.15.3.1 Classificação e Nomenclatura

A situação era caótica no âmbito da Zoologia, no que dizia respeito à classificação e às denominações das espécies animais. À medida que se expandia o conhecimento do reino animal, com novas descobertas, tornava-se mais urgente e necessária uma reformulação dessa situação, em que predominavam descrições prolixas e confusas de animais, além de designações que variavam de país a país, e, até mesmo, dentro do mesmo país. O problema não era novo, apenas mais grave. No século XVII, o principal modelo taxonômico foi o do naturalista inglês John Ray (1627-1705), que restringiu o conceito de "espécie" a organismos semelhantes derivados de uma geração paterna também semelhante, e reconheceu a variação intraespecífica. Ray estabeleceu dois grandes grupos de animais – os que tinham sangue (mamíferos, pássaros e peixes) e os que não tinham sangue (invertebrados, como insetos e crustáceos); baseado em caracteres anatômicos, estabeleceu, ainda, algumas subdivisões, como os invertebrados classificados de acordo com o tamanho e os vertebrados pela estrutura do coração[521]. Publicou Ray pequenos estudos sobre quadrúpedes e serpentes (1693) e sobre insetos (1705).

O sistema que obteria mais sucesso foi o preparado por Carl Linneu, primeiro no *Systema Naturae*, de 1735, em que apresentou um método de

[520] TATON, René. *La Science Moderne.*
[521] RONAN, Colin. *História Ilustrada da Ciência.*

classificação; e depois, na 10ª edição (1758) da mesma obra, com a descrição de 4370 espécies, e que serviria de ponto de partida para a que é atualmente utilizada. Linneu procurou respeitar as afinidades, tendo presentes a morfologia externa e a Anatomia interna. Dividiu o reino animal em seis grandes classes, definidas pelas características anatômicas: quadrúpedes, aves, anfíbios, peixes, insetos e vermes; a classe de "quadrúpedes" passou a se chamar de "mamífero", incluindo o corpo do "Homem", mas não sua alma, que não pertenceria ao reino animal. Foi Linneu que deu à espécie humana o nome de *homo sapiens*. Órgãos específicos serviam de critérios de classificação; assim, os mamíferos eram classificados de acordo com os dentes, as aves pelo bico, os peixes pelas nadadeiras, os insetos pelas asas. Como na Botânica, mantiveram-se as divisões de "gênero" e "espécie". Ao final, conseguira incluir 5.897 espécies em sua classificação. Quanto à nomenclatura, utilizaria o latim, designando com uma palavra o gênero e com mais outra a espécie. Assim, por exemplo, o gênero *Felix* abrangia várias espécies, como *felix catus*, *felix domesticus, felix leo, felix tigris*, etc; ou o gênero *Canis*, as espécies *canis lupus, canis domesticus*, etc. Crente na fixidez das espécies e oposto, assim, à noção de evolução, insistia em que cada espécie havia sido criada separadamente, não tendo surgido, desde a Criação, nenhuma nova espécie, ou que qualquer uma tenha desaparecido. Apesar de críticas a algumas falhas do modelo, foi ele aceito e adotado, sendo gradualmente modificado para se adaptar ao maior conhecimento da fauna mundial adquirido com novas pesquisas e novas descobertas.

Outras classificações foram sugeridas, mas não foram bem recebidas pelos demais zoólogos. Jacob Theodor Klein (1685-1759) criou, em 1754, em seu *Sistema Natural do Mundo Animal*, um sistema artificial, baseado em apenas uma característica exterior: a existência ou não de "pé"; os "com pés" se subdividiam em quadrúpedes, bípedes e multípedes, e os "sem pés", em répteis, com nadadeiras, e anormais. O "Homem" não era incluído como animal. Mathurin Jacques Brisson (1723-1806) no *Quadro do Reino Animal*, de 1756, adotou, parcialmente, a classificação de Linneu, mas isolou o "Homem", e reconheceu nove classes. Johann Friedrich Blumenbach (1752-1840) introduziu modificações na classificação de Linneu.

Um dos maiores críticos do sistema de classificação de Linneu foi Georges Louis Leclerc, conde de Buffon (1707-1788) que, em sua extensa *História Natural*, dedicou vários volumes às diversas espécies animais. Além de estudar os *Quadrúpedes* nos volumes 1 a 15, tratou especificamente dos *Pássaros* nos volumes 16 a 24, dos *Répteis* nos volumes 37 e 38, dos *Peixes* nos volumes 35 a 43, e dos *Crustáceos* no volume 44 (os últimos 8 volumes,

37 a 44 foram concluídos por Daubenton). Os únicos animais não tratados no livro de Buffon foram os invertebrados. Buffon incluiu o "Homem" na escala animal. Na realidade, Buffon era um descrente da utilidade, da conveniência e da possibilidade de se criar uma verdadeira classificação natural, dada a imensa diversidade do reino animal. Descreveu, primeiro, os animais domésticos mais familiares, depois as espécies selvagens, começando por aquelas mais úteis. Descreveu, cuidadosamente, todos os aspectos relacionados com os animais sob estudo: velocidade de crescimento, idade de maturidade reprodutiva, duração da gestação, idade do fim da fecundidade, aptidão para hibridação, anomalias, cuidados maternais, hábitos, instintos, etc[522]. Observador atento, anotou a diferença de fauna entre o Velho e o Novo Continente e constatou a presença de vários centros distintos de população animal: América do Sul, América do Norte, África meridional, Índia, África do Sul, Ásia Central, Ásia do Norte, Europa e Austrália, cada centro com seus animais particulares. Considerava, ainda, Buffon, que o clima, a alimentação e a domesticação teriam influência na evolução animal. Seu principal colaborador foi Louis Daubenton (1716-1800), encarregado das dissecações e de preparar as peças, estudá-las e organizá-las no *Jardin du Roi*, que se converteria num Museu aberto à visitação pública.

Vários naturalistas apresentaram classificações para alguns grupos específicos de animais. Assim, para os mamíferos, Thomas Pennant (1726-1798), em 1771; G. C. Stow, em 1780; Johann Gustav Schreber (1739-1810), Etienne Geofroy de Saint-Hilaire (1772-1844) e Georges Cuvier (1769-1832), em 1795; para os insetos, Carl Gustav Jablonsky (1756-1787), Johann Christian Fabricius (1745-1808) e Johann Illiger (1775-1813); para as aves, Paul Heinrich Moehring, na *Avium Genera*, de 1752; para os répteis, Bernard de Lacépède (1788) e Joseph Laurenti (1735-1805), em 1768; e para os moluscos e animais inferiores, Peter Simon Pallas, em 1768, devem ser mencionados, por seus esforços na elaboração de classificações com o propósito de "melhorar" o trabalho de Linneu. A classificação dos peixes, pelo sueco Peter Artedi (1705-1735), publicada em 1738, por iniciativa de Linneu, criou uma nomenclatura até hoje utilizada.

Jean Baptiste Lamarck (1744-1829) dedicou-se, igualmente, à taxonomia zoológica, tendo criado a classificação vertebrados e invertebrados e o nome Biologia; em 1809, publicou sua *Philosophie zoologique*, na qual expôs sua teoria da evolução e propôs uma classificação baseada na Anatomia comparada e na filogenia do grupo tratado, contrariando o princípio da fixidez das espécies, defendida por Linneu,

[522] TATON, René. *La Science Moderne.*

entre outros. Mais tarde (1815/22), publicaria Lamarck sua *História Natural dos Animais sem Vértebras*. É devida a Lamarck a retirada dos aracnídeos e crustáceos da classe dos insetos.

A classificação zoológica, como, aliás, também a da Botânica, não pode ser entendida como um trabalho definitivo e terminado, não sendo passível de melhorias, acréscimos e aperfeiçoamentos. A própria dinâmica do conhecimento, à luz de descobertas resultantes das pesquisas, torna evidente, indispensável e inevitável adequar a classificação e a nomenclatura ao estágio de desenvolvimento científico. Por essa razão, o tema continuaria atual, sobressaindo os trabalhos dos naturalistas Jean Baptiste Lamarck, Étienne Geoffroy de Saint-Hilaire e Georges Cuvier, na primeira metade do século XIX.

6.15.3.2 Inventário da Fauna – Estudos

Vários estudos foram preparados sobre diversos ramos da Zoologia, o que significou importante contribuição para o esclarecimento de muitos aspectos relacionados com os respectivos animais.

Na Entomologia, além das pesquisas de Antonio Vallisnieri (1661-1730) e de Hans Sloane (1660-1753), cabe ressaltar o trabalho de René Antoine de Réaumur (1683-1757), cujas pesquisas e análises rigorosas sobre vários gêneros de espécies mais representativas de insetos resultaram nos seis volumes das *Memórias para a História dos Insetos*, publicados de 1734 a 1742, completados por mais dois volumes baseados em seus manuscritos[523]. O sueco Carl de Geer (1720-1779) escreveria a *Memórias para o Estudo dos Insetos* (1752/78), em sete volumes, com a descrição de mais de 1500 espécies; Charles Bonnet (1720-1793) descobriria a partenogênese dos pulgões (1740); Pierre Lyonet (1707-1789) estudou a metamorfose de algumas espécies de insetos (1736/45), tendo escrito um *Tratado Anatômico da Lagarta*; Gilles Bazin (1681-1754) pesquisou a Anatomia e a fisiologia das lagartas. Por primeira vez, foram elaborados livros da fauna entomológica nacional de vários países, como da Inglaterra, Alemanha, Suécia e França[524].

No ramo da Ictiologia, o sueco Peter Artedi, além da classificação e nomenclatura dos peixes, examinou os fundamentos desta disciplina, contribuindo de forma importante para o desenvolvimento desse ramo da Zoologia. Outros estudos importantes foram os de Duhamel de

---

523 TATON, René. *La Science Moderne.*
524 TATON, René. *La Science Moderne.*

Monceau (1700-1782), Alexander Monro (1733-1817), Auguste Broussonet (1761-1807) e Bernard de Lacépède (1756-1825), autor da *História Natural dos Peixes* (1798/03).

Quanto aos répteis, além dos trabalhos de Lacépède e Laurenti, devem ser registrados os estudos sobre salamandras e sapos, por Charles François Dufay (1698-1739) e August Johann Roesel von Rosenhof (1705-1759).

As aves foram estudadas por Paul Heinrich Moehring (1710-1792), autor de *Avium Genera*, de 1752; Johann Leonhard Frisch (1666-1743), que descreveu pássaros da Europa central e da Alemanha; e Mathurin Jacques Brisson (1723-1806), autor de *Ornithologie*, de 1760[525].

Os marsupiais foram estudados por Etienne Geoffroy de Saint-Hilaire, em 1796; os roedores, por Peter Simon Pallas, em 1778; protozoários foram pesquisados por Antony van Leeuwenhoek, por Lazzaro Spallanzani (1729-1799), em 1772, pelo dinamarquês Otto Friedrich Muller (1730-1784) e pelo inglês Abraham Trembley (1700-1784).

6.15.3.3 Fauna Mundial

Zoólogos participaram das muitas expedições e missões enviadas aos diversos continentes para recolher e estudar as espécies locais de animais. Tais empreendimentos, na grande maioria patrocinados pelos governos e academias, pesquisaram, geralmente, a fauna e a flora, e seriam responsáveis pelo grande acervo de material acumulado nos museus, particulares e públicos, e nos centros de estudos. O desenvolvimento da História Natural, e da Zoologia, em particular, no século XVIII, deve muito a esses dedicados viajantes e exploradores que, enfrentando dificuldades e perigos, contribuiriam para o avanço do conhecimento do Mundo animal e vegetal. Assim, coleções importantes de História Natural foram formadas na Alemanha, Holanda, Inglaterra, França, Suécia, Suíça e Itália, entre outros países.

Duas grandes expedições exploradoras devem ser citadas, no caso da Rússia. A primeira, de 1733/42, chefiada por Georg Steller (1709-1746), e a segunda (1768/74), por Peter Simon Pallas e Samuel Gottlieb Gmelin, que percorreram extensas regiões da Rússia europeia e da Sibéria, recolhendo precioso material, inclusive na área da Paleontologia. Os dinamarqueses Eggert Olafsen (1726-1765) e Bjarn Povelsen (1719-1779) pesquisaram a Islândia, e Johann Anderson (1674-1743)

---

[525] TATON, René. *La Science Moderne.*

descreveu (1746) os pássaros e crustáceos dos países nórdicos. Otto Fabricius (1744-1822) escreveu, em 1780, sobre a fauna groenlandesa, e, em 1788, Nicolau Mohr (1742-1790) publicou sua *História Natural da Islândia*.

As duas primeiras viagens ao redor do Mundo, do capitão James Cook (1768/71 e 1772/75), recolheram importante material das faunas australiana, norte-americana, chinesa e das Índias Orientais. Joseph Banks e Daniel Solander (1733-1782), que participaram da primeira viagem, foram os primeiros a descrever os cangurus.

Os zoólogos Pierre Sonnerat (1748-1814) e Philibert Commerson (1727-1773) participaram das expedições (1766/69) à Oceania, de Louis Antoine Bougainville; Sonnerat, que estudou, em particular, as faunas da Índia, da China e das ilhas Molucas, participaria, também, da expedição (1785/88) de Jean François La Pérouse. Joseph Jussieu permaneceria 35 anos no Peru, estudando a flora e a fauna locais e enviando precioso material para estudo na Europa.

Michel Adanson, que pesquisou, durante alguns anos, no Senegal, incluiu observações sobre a fauna em sua famosa *História Natural do Senegal* (1757). A fauna da África do Sul foi descrita, em 1782, por Peter Kolbe (1675-1726), e em 1787, pelo sueco Anders Sparrman (1748-1820). Da expedição de Napoleão ao Egito (1798), participaram Étienne Geoffroy Saint-Hilaire e Jules Cesar Savigny (1777-1851). Guillaume Antoine Olivier (1756-1814) explorou a Ásia Menor e a Pérsia.

6.15.3.4 Biologia Animal

Importantes e significativos avanços ocorreram no conhecimento da Biologia animal no século XVIII, em decorrência, em parte, de pesquisas efetuadas no século anterior, quando muitas questões foram levantadas, sem, necessariamente, terem sido encontradas respostas adequadas.

Progresso nos estudos dos sistemas digestivo, respiratório, nervoso, circulatório, muscular, linfático, glandular e outros, pesquisas pioneiras sobre as funções do cérebro e sobre os tecidos, e avanços em Anatomia lançariam as bases para a estruturação da Biologia como Ciência, no século XIX.

Dado que alguns temas, de caráter genérico, permearam as discussões entre os naturalistas, ao longo de todo o século XVIII, convém examiná-los, de início, antes de tratar de aspectos específicos da Fisiologia. Teorias, como as do preformismo, da epigenesia, da geração espontânea e do transformismo, seriam amplamente discutidas, alargando o

conhecimento dos fenômenos biológicos, sem, necessariamente, chegar, em alguns casos, a uma conclusão consensualmente aceita.

6.15.3.4.1 Epigênese e Preformismo

A Embriologia, ramo da Fisiologia, só se formaria no século XIX, após um longo debate e uma série de pesquisas sobre a formação do ser no corpo materno. Várias teorias foram formuladas, no século XVII, com o propósito de elucidar uma questão já objeto de especulação desde a Grécia[526].

No século XVII, Robert Hooke descobriu a estrutura celular dos seres vivos e cunhou o termo "célula"; Nehemias Grew estudou a estrutura das plantas e descobriu sua sexualidade; Marcello Malpighi descreveu o desenvolvimento da semente e do embrião, além de estudar os tecidos dos animais. A partir daí, dois sistemas opostos, baseados num germe preexistente, surgiriam por essa época: o do "ovo", defendido, entre outros, por Harvey, Regner de Graaf e Steno, sustentava a germinação do germe no óvulo feminino e tratava da formação gradual do embrião; e o sistema do "homúnculo", "animalúnculo" ou "espermatista", pelo qual o germe reprodutor estaria no sêmen masculino; nesse último caso, sustentava-se o preformismo, já que todos os órgãos do animal existiriam, em miniatura, no ovo, e que o processo de desenvolvimento consistiria, meramente, no desdobramento do embrião pré-formado. Em 1677, Leeuwenhoek descobriu o espermatozoide, o que parecia invalidar a teoria do óvulo, em favor da ideia da preformação, de Nicolau Malebranche, apresentada na obra *La Recherche de la Verité* (1674): desde a Criação existiriam os germes, como miniaturas, um encaixado no outro, de todos os indivíduos. Assim, os indivíduos que viriam a nascer no futuro, imediato ou longínquo, já estariam pré-formados[527]. Os debates sobre a matéria foram inconclusivos, prosseguindo no século XVIII.

O naturalista suíço Charles Bonnet (1720-1793), que descobriu a "partenogênese" (reprodução sem fertilização) do pulgão, estudou a estrutura e a função das folhas e a respiração das larvas e das borboletas, defendeu, na obra *Considérations sur les corps organisés* (1762), que cada ser vivo já existia pré-formado no óvulo, e que no seu interior haveria um óvulo menor ainda, também pré-formado, e assim por diante. O esperma, ao entrar no óvulo (na realidade, feto pré-formado), provocaria apenas seu desenvolvimento. Em consequência, para Bonnet, as espécies seriam imutáveis.

[526] THEODORIDES, Jean. *Histoire de la Biologie.*
[527] TRATTNER, Ernest. *Arquitetos de Ideias.*

Pierre Louis Maupertuis especularia sobre questões biológicas, combatendo a teoria dos germes e sustentando um sistema de "mistura de sêmens" ou de "partículas seminais", nas quais haveria um grande número de partículas que conteriam as partes orgânicas do corpo; tais partículas, por uma atração mútua, se combinariam, formando o embrião. Sobre o tema escreveria *Venus Physique* (1744), *Système de la Nature* (1751) e *Essai sur la Formation des Corps Organisés* (1754)[528].

O naturalista Georges Buffon defenderia a "teoria das moléculas orgânicas", indestrutíveis, ordenadas por uma "forma" ou "molde" interior. O naturalista suíço Albrecht von Haller, professor em Göttingen, por volta de 1760, com base em seu estudo sobre o ovo da galinha, sustentaria que o germe pertencia à galinha e que o embrião do pinto preexistiria à fecundação. Dados seu prestígio e influência nos meios científicos da época, suas conclusões tiveram muita repercussão e apoio.

Estudo, sob uma óptica completamente diferente, seria apresentado pelo alemão Caspar Friedrich Wolff (1733-1794), considerado, hoje, muito justamente, como um dos pioneiros da Embriologia descritiva. Após cuidadosas e meticulosas pesquisas, acompanhando o desenvolvimento do pinto no ovo, inclusive a formação dos vasos sanguíneos, expôs Wolff suas conclusões na *Theoria Generationis* (1759), complementadas na *De Formatione Intestinorum* (1768), nas quais provaria que os órgãos não eram pré-formados, mas se foram formando gradualmente, no curso do desenvolvimento do feto. Demonstrou, assim, o que chamou de "epigênese", dando início à embriologia descritiva[529].

Sustentava Wolff que o desenvolvimento embrionário se devia a uma força secreta (*vis essentialis*), que organizava a matéria viva. O trabalho de Wolff suscitaria sérias objeções e acirradas críticas, a ponto de ter que aceitar o convite de Catarina II para ir trabalhar na Rússia, onde morreu sem nunca mais ter voltado à Alemanha. A forte reação nos meios conservadores, inclusive, e principalmente, por Haller, a Wolff, se explica por ser a teoria da preformação essencialmente uma comprovação do dogma da Criação, segundo o qual toda a formação de vida foi completada por Deus no começo do Mundo. Todos os indivíduos de cada espécie animal e vegetal tinham sido criados simultaneamente e para sempre; a primeira fêmea de cada espécie trazia em si todos os indivíduos dessa espécie, presentes e futuros[530]. A forte oposição e a censura imposta às ideias de Wolff impediriam qualquer influência sua no desenvolvimento

528 THEODORIDES, Jean. *Histoire de la Biologie.*

529 TATON, René. *La Science Moderne.*

530 TRATTNER, Ernest. *Arquitetos de Ideias.*

imediato das pesquisas na Embriologia, que só viriam a progredir a partir dos trabalhos de Theodor Schwam, Karl Nägeli, e outros, no século XIX.

O padre italiano Lazaro Spallanzani (1729-1799), defensor da teoria preformista e ovista (1768), elaborou importantes trabalhos experimentais sobre fecundação de animais (sapos e rãs) e realizou a primeira inseminação artificial em laboratório, antes de realizá-la numa cadela. Provaria ser necessário o contato direto entre os óvulos e o sêmen para a fecundação, sem concluir, contudo, ser o sêmen indispensável para a fecundação do ovo, pois acreditava ser o ovo um feto do qual o sêmen meramente provocaria seu desenvolvimento.

6.15.3.4.2 Geração Espontânea

Apesar do progresso nas pesquisas do século XVII, contrárias à geração espontânea, em especial por parte de Francesco Redi, em sua celebrada obra de 1668, *Experiências sobre a geração dos insetos*, de Antonio Vallisnieri (1661-1730) em Entomologia e Botânica e de Marcello Malpighi nas pesquisas sobre gusanos e vermes, as opiniões, nos meios intelectuais, estavam divididas. Um grande número de naturalistas ainda sustentava a teoria da geração espontânea, principalmente após a descoberta, por Leeuwenhoek, das "bactérias", como Georges Louis Buffon e Otto Friedrich Müller.

O assunto foi retomado pelo padre inglês John Turberville Needham em seu *An account of some new microscopical discoveries*, de 1745, em que relatou ter observado um grande número de organismos se desenvolverem em infusões preparadas de diversas substâncias, expostas por 30 minutos a intenso Calor em tubos selados. Como o Calor deve ter matado os organismos anteriormente existentes, a nova população de organismos era considerada como resultante de geração espontânea. A experiência de Needham seria repetida, em 1775, por Spallanzani, com algumas alterações, como selagem do tubo, intensidade do Calor e tempo de exposição das substâncias ao Calor. Tendo chegado a um resultado diferente do alcançado pelo padre inglês, a conclusão de Spallanzani seria a de que ou o tubo não fora convenientemente selado, ou as substâncias não foram suficientemente aquecidas na experiência de Needham. O apoio de Buffon e de outros naturalistas à teoria da geração espontânea manteria o assunto em debate, de alguma forma inconclusivo, até ser definitivamente equacionado por Louis Pasteur, na segunda metade do século XIX.

6.15.3.4.3 Formação das Espécies

Nos séculos anteriores, a teoria predominante, para não dizer exclusiva, acerca da formação das espécies era a da sua imutabilidade ou de sua fixidez e permanência, ou seja, não teria havido mudanças, nem surgimento, nem extinção de espécies desde a Criação. O tema era pacífico, não suscitando debates e dúvidas nos meios intelectuais.

A teoria da fixidez das espécies continuaria a prevalecer no século XVIII, com o apoio da ampla maioria dos naturalistas; nesse rol se incluiriam Linneu, Bonnet, Needham, Haller e tantos outros. Alguns, como Linneu, poderiam admitir que a Natureza produzia certas anomalias acessórias, que tenderiam a desaparecer, enquanto permaneceriam eternamente as espécies originais.

Devido aos avanços nas pesquisas da Paleontologia, com a crescente aceitação (Buffon, Réaumur, Antoine de Jussieu, John Hunter e outros) da origem orgânica dos fósseis, à evidência da variação das espécies, principalmente na flora (Adanson), e à libertação de preconceitos religiosos que permitiria a vários intelectuais rejeitar a tradição bíblica, começaram muitos naturalistas a admitir a hipótese da modificação ou transformação das espécies animais e vegetais. Várias teorias transformistas seriam defendidas, ao longo do período, sem que qualquer uma delas, contudo, tenha obtido êxito em rivalizar com a da imutabilidade das espécies[531]. Seu valor é meramente histórico, dado seu caráter especulativo sem base científica.

Um "transformismo parcial" foi defendido pelos botânicos Jean Marchant (?-1738) e Antoine Nicolas Duchesne (1747-1827), limitado à descendência do mesmo gênero.

O "transformismo limitado", de Georges Louis Buffon, consta do capítulo "degenerescência dos animais" da sua *História Natural*, em que apontou o clima, a nutrição e a domesticação como principais responsáveis pelas modificações ocorridas nas espécies. Das 200 espécies de animais estudadas, Buffon considerava que apenas 15 gêneros e nove espécies na Europa e dez gêneros e quatro espécies nas Américas, num total de 38 tipos, seriam originais, com os demais sendo meras modificações ocorridas por causas externas.

O "transformismo integral" foi exposto pelo matemático Pierre Louis Maupertuis (1698-1759), em seu *Venus Physique* (1745) e no *Ensaio sobre a formação dos corpos organizados* (1754), que admitiu a formação de novas espécies pela variação fortuita, quando "as partes elementares não

[531] TATON, René. *La Science Moderne.*

mantiveram a mesma ordem que tinham nos animais pai e mãe; cada grau de erro fez uma nova espécie"[532].

O "transformismo especulativo" teve dois expoentes. Benoit de Maillet (1658-1738), em sua obra *Telliamed*, de 1735 (publicada em 1748), sustentava que, após o Dilúvio, todas as primeiras espécies eram marinhas, que, por transformações bruscas, geraram todas as espécies terrestres, inclusive o Homem[533]. Jean Baptiste Charles Robinet (1735-1820), em *De la nature*, de 1766, argumentaria que todos os seres formavam um só reino, em "cadeia contínua", cujo ponto de partida era um "protótipo" indefinidamente variado e cujos aspectos progressivos respondiam a um predomínio crescente da força sobre a matéria; o Homem representaria a extremidade superior da "cadeia"[534].

O naturalista inglês Erasmus Darwin (1731-1802), autor de *Zoonoia* (1794/96), sustentaria a mutação evolutiva, ocasionada pelo efeito direto do meio ambiente e de outras causas, como doenças, hábitos, hibridação e domesticação sobre as espécies. Seu neto, Charles Darwin, não o incluiria dentre os naturalistas que o tivesse influenciado em sua obra.

Nenhuma dessas teorias teve sucesso em sua época, porém já são indicativas de não ser mais pacificamente aceita a tradicional explicação da criação e da imutabilidade da espécie humana, da qual Georges Cuvier foi um dos mais famosos defensores.

Apesar da obra do naturalista Georges Cuvier (1769-1832), considerado o pai da Paleontologia e da Anatomia comparada, pertencer ao século XIX, suas ideias sobre a formação da espécie já constaram de suas publicações *Quadro Elementar da História Natural dos Animais*, de 1797, e *Lições de Anatomia Comparada* (1800/05). Nesse último livro citado, defendeu Cuvier o "princípio da correlação das partes", pela qual a estrutura anatômica de cada órgão estaria funcionalmente relacionada com todos os demais órgãos do corpo, e que as características estruturais e funcionais dos órgãos resultavam de suas interações com o meio. As características anatômicas seriam uma evidência de que as espécies não se transformaram desde a Criação, já que cada espécie é tão bem coordenada, funcional e estruturalmente, que não poderia sobreviver a mudanças significativas; cada espécie fora criada com um objetivo específico, e cada órgão com uma função própria. Apesar de protestante num país católico, Cuvier, cujas ideias conservadoras receberam apoio nos meios intelectuais e eclesiásticos, teve uma grande influência na primeira metade do século

[532] THÉODORIDÈS, Jean. *Histoire de la Biologie.*
[533] MASON, Stephen. *Historia de las Ciencias.*
[534] TATON, René. *La Science Moderne.*

XIX. Tais opiniões antievolucionistas colocariam Cuvier em campo oposto ao de Lamarck e Saint-Hilaire, com quem teria um famoso debate na Academia de Ciências, em 1830[535].

A teoria da evolução, de Jean Baptiste Pierre Antoine de Monet, Cavaleiro de Lamarck (1744-1829), se insere no contexto do capítulo referente ao século XIX, quando será examinada.

6.15.3.4.4 Anatomia

O estudo da Anatomia animal, particularmente da Humana, progredira nos séculos XVI e XVII, após um longo período de desinteresse, no qual os ensinamentos do passado eram considerados como definitivos e suficientes. As pesquisas anatômicas e o ensino da Medicina, inicialmente (século XVI) concentrados na Itália, viriam a se espalhar a outros países europeus, o que beneficiaria a expansão, no século XVII, dos estudos e experiências e a renovação do espírito científico.

Haveria significativo avanço no conhecimento anatômico no século XVIII, com a Itália, França, Grã-Bretanha e Alemanha na liderança incontestável das pesquisas sobre diversos órgãos do corpo humano. Uma pequena lista exemplificativa de pesquisadores atesta o interesse pelo estudo e o desenvolvimento alcançado na Anatomia, em geral, e na Anatomia patológica. O conhecimento anatômico, ao final do século XVIII, seria muito superior ao atingido no fim do século precedente.

Quanto à Anatomia macroscópica, podem ser relacionados os seguintes pesquisadores, com suas respectivas áreas de estudo e investigação[536]: o alemão Bernhard Albinus (1697-1770) e o inglês William Cheselden (1682-1752) estudaram os ossos; o italiano Giovanni Santorini, os músculos, sendo autor de *Opusculo medica di structura*" (1705) e *Observationes anatomica* (1724), além de professor de obstetrícia; o alemão Adam Christian Thebesius, a circulação coronária; o italiano Paolo Mascagni (1755-1815), o sistema linfático, e escreveu *Anatomia universa* (1823/32); os franceses Jean Baptiste Senac (1693-1770) e Antoine Ferrein (1693-1769), o fígado e os rins. Senac escreveu, ainda, um tratado sobre o coração (1749), e Ferrein estudou as cordas vocais; o alemão Johann Nathaniel Lieberkuhn (1711-1756), os intestinos; o francês Théophile de Bordeu (1722-1776), as glândulas e o tecido celular, e escreveu artigo para a Encoclopédia; o francês Joseph Lieutaud (1703-1780) e o escocês James

[535] THEODORIDES, Jean. *Histoire de la Biologie.*
[536] TATON, René. *La Science Moderne.*

Douglas (1675-1742), o peritônio e a bexiga; o italiano Antonio Pacchioni (1665-1726) examinou o invólucro cerebral e escreveu *De durae meningis fabrica et usu disquisito anatomica* (1701) e *Descriptio epistolaris de glandulis meninges humane* (1705) e o alemão Karl August Bergen, a aracnoide; o italiano Antonio Scarpa, os nervos; o alemão Heinrich Wrisberg (1739-1808), o sistema nervoso abdominal, além de ter sido professor de obstetrícia e Anatomia em Göttingen; o alemão Johann Gottfried Zinn (1727-1759) e o francês Pierre Demours (1702-1795) pesquisaram o sistema ocular, tendo Zinn escrito *Descriptio anatomica oculi humani* (1755); e o italiano Antonio Maria Valsalva (1666-1723), o sistema auditivo[537], autor de *De aure humana tratactus* (1704).

Uma das áreas da Anatomia que mais se desenvolveu no século XVIII foi a do sistema nervoso central ou a do cérebro. Além dos importantes trabalhos de Jacques Winslow (1669-1760), autor de *Exposição anatômica da estrutura do corpo humano*; do holandês Petrus Camper (1722-1789), sobre craniologia; do alemão Johann Christian Reid (1759-1813); do inglês Alexander Secundus Monro (1733-1817); e do italiano Luigi Rolando (1770-1832), devem ser mencionadas as pesquisas de Félix Vicq d'Azyr (1748-1794), que mostrou nascerem os nervos cranianos do encéfalo e do tronco cerebral, e não das meninges; realizou d'Azyr, em 1786, um estudo comparativo da Anatomia e da fisiologia do cérebro dos animais com a do Homem; foi dos primeiros a assinalar o caráter constante das circunvoluções cerebrais dos animais e descobriu a fenda situada entre o lóbulo frontal e o lóbulo parietal do cérebro[538]. O alemão Samuel Thomas von Sommering (1755-1830) descreveria a origem encefálica ou medular dos nervos.

De particular importância no estudo do cérebro, e de suas funções, foi o pioneirismo do fisiólogo e anatomista alemão Franz Joseph Gall (1758-1828), com sua teoria de que as funções cerebrais estariam localizadas em regiões específicas do cérebro, e que o comportamento humano dependia dessas funções. Gall sustentava que os 27 principais traços da personalidade estavam localizados em lugares determinados do cérebro; cada órgão corresponderia a uma faculdade humana, tendo identificado que 19 dessas faculdades eram compartilhadas com outras espécies animais: por exemplo, o instinto de reprodução estaria localizado no cerebelo. Esse conceito de localização das funções, por ser revolucionária, levantaria sérias objeções e violenta reação de líderes religiosos e de intelectuais, tendo Gall sido forçado a abandonar Viena,

[537] TATON, René. *La Science Moderne.*
[538] SAKKA, Michel. *Histoire de l'Anatomie Humaine.*

onde ensinava; após percorrer a Alemanha e pronunciar conferências, se transferiu, em 1805, para a França, naturalizando-se francês em 1819. Escreveu Gall sobre o assunto, em 1808, a *Introdução ao curso de fisiologia do cérebro*, e, em 1809, a obra *Pesquisas sobre o sistema nervoso em geral e sobre o do cérebro em particular*; vários outros livros, com o intuito de divulgar e esclarecer sua teoria, seriam publicados nos anos seguintes. Mostrou Gall que a massa cinzenta era a parte mais ativa e essencial do cérebro, e que a massa branca era o material de ligação. Sua teoria de sede específica no cérebro das funções intelectuais se provaria correta com as pesquisas de Paul Broca (1824-1880)[539]. Outro aspecto do trabalho de Gall se relaciona com a chamada “frenologia” (craniologia), pela qual o formato do crânio determinaria as aptidões do indivíduo e o formato do cérebro. Convencido da localização das funções mentais em regiões específicas do cérebro, Gall sustentava que a superfície do crânio refletia o desenvolvimento relativo das várias regiões do cérebro, tese que viria a desacreditar, por algum tempo, o conjunto de sua obra.

Sobre a Anatomia patológica, o primeiro grande nome no século é o do médico e professor Giovanni Battista Morgagni (1682-1771), considerado o pai da Patologia médica. Após graduar-se em Bolonha, onde foi aluno de Valsalva, com quem colaborou na preparação da célebre *De Aure Humana*, mudou-se para Pádua, em 1710, e assumiria, na Universidade, em 1715, a cátedra de Anatomia. Sua obra *Adversaria Anatomica* (1706-1719) o fez famoso, mas seu livro mais importante seria *De Sedibus et Causis Morborum per Anatomem Indagatis* (1761), que trata das condições mórbidas do corpo e contém a descrição de 640 dissecações *post mortem*, efetuadas por ele. Morgagni introduziu o conceito de órgão como sede da doença[540].

Bichat é o outro grande nome da Patologia no século XVIII, sendo considerado o pai da Patologia dos tecidos. Defendeu a necessidade de se procurar no cadáver as causas da morte, sustentando, ao contrário de Morgagni, estar no tecido a sede das doenças. Com suas pesquisas, experimentações e dissecações (mais de 600), Bichat contribuiria decisivamente para o desenvolvimento da Biologia em geral.

6.15.3.4.5 Fisiologia

Os precários estudos anatômicos e fisiológicos, conhecidos desde a Grécia, somente a partir do século XVI seriam contestados ou aperfeiçoados.

---

[539] SAKKA, Michel. *Histoire de l’Anatomie Humaine.*
[540] LIMA, Darcy. *História da Medicina.*

A prioridade esteve, inicial e compreensivelmente, no campo da Anatomia (Vesalio, Colombo, Eustacchio, Fallopio, Acquapendente, Ambroise Paré). As pesquisas e as descobertas da circulação sanguínea e linfática seriam um extraordinário avanço na Fisiologia animal (Harvey, Malpighi, Aselli, Pecquet, Rudbeck, Bartholin), no século XVII, resultante do crescente interesse, da parte da comunidade médica, por um melhor conhecimento do organismo humano. A criação de várias Escolas de Medicina (Itália, França, Holanda, Alemanha, Inglaterra) atesta esse interesse, ainda que o ensino fosse mais teórico, de acordo com Galeno, do que prático. A proibição de dissecação dificultava, contudo, o adequado conhecimento do funcionamento dos vários órgãos do corpo, limitando sensivelmente a possibilidade de êxito da prática médica.

De qualquer forma, progresso significativo seria registrado, inclusive contra tabus e preconceitos que, havia mais de um milênio, entravavam o desenvolvimento do conhecimento das funções dos diversos órgãos das plantas e dos animais. Não seria mais aceitável limitar os estudos da flora e da fauna a meros exercícios descritivos; era imperativo conhecê-las, de forma global, a fim de obter resposta, sem recurso a doutrinas estranhas à Ciência, a uma série de incógnitas e mistérios. Para tanto, a Fisiologia seria beneficiada pela aplicação da Física e da Química nas pesquisas biológicas e pelo desenvolvimento de um espírito científico, principalmente a partir da segunda metade do século.

Menção especial deve ser feita à obra do médico e biólogo Marie François Xavier Bichat (1771-1802), criador da Histologia, pai da Patologia Moderna e fundador da Anatomia geral, autor de quatro obras de grande valor para a evolução da Biologia em geral, e da Fisiologia em particular. Morto aos 31 anos de idade, deixaria para a posteridade *Traité des Membranes* (1800), *Les Recherches Physiologiques sur la Vie et la Mort* (1800), *Anatomie Générale* (1801) e *Anatomie Descriptive* (1801/02). Praticando em grande escala a autópsia (mais de 400), como a experimentação fisiológica, Bichat mostrou o papel dos tecidos (membranas) como unidades autônomas fundamentais para explicar as propriedades fisiológicas e as modificações patológicas do organismo. Em sua *Recherches Physiologiques*, um clássico da Fisiologia, e nas outras obras argumentava que a Patologia e a Anatomia deviam basear-se, não nos órgãos, como proposto por Morgagni, mas na classificação e no exame do tecido. Bichat, mesmo sem o uso de microscópio, identificou 21 tipos de tecidos, que entram em diferentes combinações na formação dos órgãos do corpo humano. Em Anatomia, introduziu o conceito de tecido e classificou os órgãos de acordo com os tecidos que formam suas estruturas.

6.15.3.4.5.1 Sistema Respiratório

No século XVII, Gian Alfonso Borelli (1608-1679) havia descoberto as variações do volume do tórax no processo de respiração. Albrecht von Haller (1708-1777), em seu *De respiratione experimenta anatomica*, de 1746/47, explicaria corretamente a mecânica respiratória, inclusive o papel do espaço da pleura[541].

O problema químico da mistura do sangue e do ar foi tratado pelo químico Joseph Priestley, em seu *Experimentos e observações sobre diferentes tipos de ar* (1774/77), no qual relataria ter mantido acesa uma vela num ambiente fechado por causa do ar deflogisticado (oxigênio), comunicando à Sociedade Real ser o oxigênio apropriado para a respiração animal. Experiência semelhante seria realizada por Lavoisier em relação aos pássaros (1773) e porcos-da-Índia (1777), com um informe à Academia de Ciências intitulado *Memória sobre as mudanças do sangue nos pulmões e sobre o mecanismo da respiração* (1777). Pouco depois (1780), Lavoisier e Laplace apurariam que a respiração era uma combustão lenta, igual à do carvão, e, em 1785, Lavoisier endereçaria uma Memória à Academia sobre as "alterações no ar respirado", esclarecendo que da respiração não resultava apenas o gás carbônico, mas também a água, pela combustão do hidrogênio. Seus trabalhos seriam expostos nas *Memórias* de 1789 e 1790 sobre a respiração dos animais. Spallanzani, na mesma linha de experiências de Lavoisier, pesquisaria o sistema respiratório dos vertebrados e invertebrados e estabeleceria que todos os órgãos e tecidos absorvem o oxigênio e liberam o ácido carbônico; a absorção do oxigênio pela pele, entre os batráquios e os répteis, poderia ser maior que a dos pulmões, dissociando, assim, a função respiratória da existência de órgãos pulmonares. Cabe registrar, ainda, o trabalho de Jean Senebier (1742-1809), descrito nas *Memórias sobre a respiração* (1803).

A questão paralela da sede do Calor animal seria corretamente tratada pelo matemático Joseph Louis Lagrange: o sangue pulmonar, em contato com o ar inspirado, assimilaria oxigênio, cuja combinação com o carbono e o hidrogênio sanguíneo daria gás carbônico e água, liberados, por sua vez, no ar expirado[542]. Essa explicação seria confirmada em 1837, por Gustav Magnus (1802-1876), que utilizaria na experiência uma bomba de mercúrio.

541 TATON, René. *La Science Moderne.*
542 TATON, René. *La Science Moderne.*

6.15.3.4.5.2 Sistema Digestivo

Gian Borelli e Francesco Redi, entre outros, haviam reduzido o processo digestivo a uma mera ação mecânica de trituração, da qual a mastigação era a fase inicial. Van Helmont defenderia em seu *Digesto alimenti humani* que a digestão ocorria no estômago, em função da ação de um fermento ácido que esse órgão recebia do baço. Franz de le Boe (Sylvius) considerava (1663) a digestão como um fenômeno químico sob ação de sucos, como a saliva, explicação confirmada pela descoberta do suco pancreático, em 1664, por Regner de Graaf.

Os estudos no século XVIII se concentrariam na função do estômago na digestão. Hermann Boerhaave considerava a digestão um fenômeno físico (mastigação e peristaltismo gástrico) e químico (solução e putrefação), sob efeito da saliva e do suco gástrico. Haller, em seu *Elementa physiologiae*, aceitaria a ação mecânica, mas daria ênfase ao processo químico da digestão e ao papel do suco gástrico e da saliva. René Réaumur, em sua *Memória para a História dos Insetos* (1752), tratou da digestão dos pássaros, examinando aspectos da trituração mecânica, putrefação e papel do suco gástrico, concluindo que o suco gástrico não induz à putrefação, mas, ao contrário, a impede, e que havia dois mecanismos diferentes de digestão, um para os herbívaros (trituração mecânica) e outros para os carnívoros (solução química). Spallanzani, utilizando-se do método comparativo, estudaria o assunto, pesquisando um grande número de espécies de animais. Constataria, no *Opusculi di fisica animale et vegetabile* (1776), a "dissolução", não a putrefação, dos alimentos e o papel do suco gástrico no processo digestivo. Entretanto, seria Bassano Carminati (1750-1830) que descobriria a acidez do suco gástrico, conforme *Pesquisa sobre a natureza do suco gástrico*, de 1783.

6.15.3.4.5.3 Sistema Circulatório Sanguíneo

Malpighi, Leeuwenhoek e Borelli, entre outros, estudaram, no século XVII, o sistema circulatório sanguíneo, descoberto por Harvey. O médico Borelli procuraria aplicar as leis da mecânica hidráulica a esse sistema; considerando a força da atração muscular proporcional a seu volume, calculou em 3 mil libras romanas (1 libra = 327,45 gr) a força da contração cardíaca.

No início do século XVIII, James Keill (1673-1719) em seu tratado *Tentamina medico-physica*, de 1718, reservou três ensaios às questões da

quantidade de sangue, da velocidade do sangue e da força do coração. Suas estimativas foram de 100 libras de peso de sangue para um Homem com 160 libras e de 1,60 m, o percurso do sangue em 1 hora, e de cerca de 340 gramas a força do coração (calcula-se hoje a massa do sangue em 1/3 do peso do corpo humano, a velocidade do sangue de 50 cms na aorta e o trabalho correspondente ao impulso do ventrículo esquerdo em 0,1 kgm)[543].

Stephen Hales, em seu famoso *Vegetable Staticks* (1727), medira as variações de pressão nas raízes e nos galhos das plantas. No segundo volume de seu *Statical Essays*, intitulado *Haemastaticks* (1733), Hales trataria de medir a pressão sanguínea nos vasos, utilizando-se de um manômetro de tubo longo, de vidro, com ramificações e torneiras, colocadas na jugular, na carótida ou em determinadas artérias de um cavalo, de um cão e de uma ovelha. Hales constataria que a pressão sanguínea era diferente nas artérias e nas veias, a qual variaria de acordo com a sístole e a diástole, que era uma característica das espécies de animais consideradas, e que a pressão era um teste do estado do coração[544]. O trabalho de Hales é reputado como o mais importante do século XVIII sobre a circulação sanguínea.

Daniel Bernoulli, em sua célebre *Hydrodynamica* (1738), e seu discípulo, Daniel Passavant (1722-1799), no *De vis cordis* (1748), dedicaram-se ao cálculo do trabalho cardíaco, apresentando resultados bem próximos aos atualmente admitidos.

Albrecht von Haller, em *De motu sanguinis* (1752), estenderia até os capilares o poder do coração, ao observar a simultaneidade das pulsações nas artérias e nos capilares. Spallanzani, em suas *Memória*s *A circulação observada na universalidade do sistema vascular*, *Os fenômenos da circulação lânguida*, *Os movimentos do sangue independentes da ação do coração* e *A pulsação das artérias*, de 1773, contribuiria, de forma importante, para o desenvolvimento da Biologia experimental e do conhecimento do sistema circulatório sanguíneo.

6.15.3.4.5.4. Contração Muscular

Os trabalhos de Descartes (*Tratado do Homem*, 1662), de Stenon (*Elementorum myologiae specimen sive musculi descriptio geometrica*, 1667), de Thomas Willis (, 1670), de Gian Borelli (*De motu animalium*, 1680/81)

543 TATON, René. *La Science Moderne.*
544 TATON, René. *La Science Moderne.*

e de Jean Bernoulli (*De effervescentia et fermentatione*, 1690, e *De motu muscularum*, 1694) seguiriam, de um modo geral, a tônica traçada por Descartes, da teoria mecanicista.

No século XVIII, James Keill no *Tentamina medicophysica* (1718) daria uma explicação para a contração muscular pela força de atração que exerceriam sobre o sangue os "espíritos animais" (de Descartes), com a consequente dilatação dos vesículos constitutivos da fibra. George Cheyne (1671-1743), autor do *English malady or a treatise of nervous disease of all kinds* (1735), explicaria a contração muscular pelo efeito da elasticidade e da atração. Bryan Robinson (1680-1754) no *Treatise on the animal economy* (1734) encontraria no movimento vibratório de um "éter animal" a causa da contração muscular.

A doutrina que predominaria no século XVIII seria a elaborada por Albrecht von Haller no *Elementa physiologiae* (8 volumes), de 1756/66, que examina a hipótese cartesiana de "espírito animal" como causa do movimento muscular. Haller desenvolveria o conceito de "irritabilidade", própria aos músculos, como a sensibilidade dos nervos e a contração do tecido celular. A irritabilidade seria uma propriedade vital do tecido muscular (inclusive do coração e dos intestinos), em que todo movimento muscular se reduziria a uma contração, nos seres vivos, e a uma retração, no cadáver, não ocorrendo no tecido celular, nem nos tendões e ligamentos, nem na pele. Na doutrina de Haller, dado ser específica do músculo, a irritabilidade não teria nenhuma relação com o sistema nervoso e com o cérebro[545].

Fim do Tomo I

[545] THEODORIDES, Jean. *Histoire de la Biologie.*

Formato	15,5 x 22,5 cm
Mancha gráfica	12 x 18,3cm
Papel	pólen soft 80g (miolo), cartão supremo 250g (capa)
Fontes	Verdana 13/17 (títulos),
	Book Antiqua 10,5/13 (textos)

Carlos Augusto de Proença Rosa, nascido no Rio de Janeiro em 4 de setembro de 1931, formou-se pelo Instituto Rio Branco em 1954. Em seus quarenta anos de serviço ativo no Itamaraty trabalhou na Secretaria de Estado nos setores de Comunicações, Político e Produtos de Base, chefiou o Departamento Econômico por sete anos e, no exterior, serviu nas Embaixadas em Lima, Washington, Londres, Pequim, Cairo, bem como Dublin e nas representações diplomáticas junto à ALALC (Montevidéu) e às Nações Unidas em Viena (UNIDO, AIEA). Proença Rosa abriu as Embaixadas do Brasil em Pequim e Dublin e foi promovido a Embaixador em março de 1979.

Participou de um grande número de conferências internacionais nas áreas de comércio, energia, ciência e tecnologia, finanças e produtos de base em diversos foros multilaterais (UNCTAD, GATT, FMI, BID, AIEA, UNIDO, CEPAL, ALALC, Grupo dos 77), integrou a delegação brasileira à Reunião Internacional de Cooperação e Desenvolvimento (Cancun, 1981) e atuou como delegado em negociações de política econômica, energética, científica e de transportes, tendo sido também representante do Itamaraty no CONMETRO.

O advento e os avanços da Ciência Moderna do início do século XVII ao final do XIX estão tratados em dois tomos. Neste tomo I (século XVII e XVIII) merece especial referência o capítulo sobre as bases da Ciência Moderna, em especial a formulação da metodologia (Bacon, Galileu, Descartes e Newton) científica, indispensável fundamento para o surgimento do pensamento científico, o qual será o responsável pelo desenvolvimento da Ciência em bases firmes. O autor insiste em várias passagens sobre essa íntima relação da evolução do pensamento científico e o avanço das pesquisas nos diversos ramos da Ciência. Nesses dois séculos, a Matemática (Logaritmo, Cálculo, Geometria Analítica), a Astronomia (Mecânica Celeste, Sistema Solar), a Física (Mecânica, Óptica, Eletricidade) e a Química (Nomenclatura, Conservação da matéria, Leis) se firmariam como ramos estruturados da Ciência, enquanto a História Natural (Biologia Humana, Circulação sanguínea, Fisiologia) expandiria a área de pesquisa, iniciando o processo de desmistificação de várias teorias sem sustentação científica.





FUNDAÇÃO ALEXANDRE DE GUSMÃO
www.funag.gov.br

